

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE OCCIDENTE**

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de Apoyo al Desarrollo Tecnológico de la Industria



ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara

**4E06 Programa de Apoyo al Desarrollo Tecnológico de la
Industria**

**“Tecnología electroquímica y sus aplicaciones: Inhibidores de
corrosión a partir de residuos agroindustriales”**

ITESO, San Pedro Tlaquepaque, Jalisco

PRESENTA

Alumna: Lorena M. Saavedra Navarrete

Profesor PAP: Fernando Hernández Ramírez

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco, Julio 2017

Tabla de contenido

PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL DE LOS PROYECTOS DE APLICACIÓN PROFESIONAL.....	3
RESUMEN	3
1.- INTRODUCCIÓN	4
1.1.- OBJETIVOS	4
1.2.- JUSTIFICACIÓN	4
1.3.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO	5
1.4.- CONTEXTO	5
1.5.- ENUNCIADO BREVE DEL CONTENIDO DEL REPORTE	5
1.6.- CRONOGRAMA O PLAN DE TRABAJO	5
2.- DESARROLLO	6
2.1.- SUSTENTO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....	6
2.1.1.- <i>Propiedades de los metales utilizados</i>	6
2.1.2.- <i>Corrosión e Inhibición</i>	7
2.1.3.- <i>Mecanismos de Inhibición</i>	8
2.1.4.- <i>Inhibidores Orgánicos</i>	9
2.2.- PLANEACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO	10
2.2.1.- <i>Metodología</i>	10
3.- RESULTADOS	14
3.1.- <i>Tablas de resultados</i>	14
3.2.- <i>Prueba de Homocedasticidad</i>	56
3.3.- <i>Análisis de Eficiencias</i>	58
4.- REFLEXIONES DEL ALUMNO SOBRE SU APRENDIZAJE, LAS IMPLICACIONES ÉTICAS Y LOS APORTES SOCIALES DEL PROYECTO.	70
APRENDIZAJES PROFESIONALES	70
APRENDIZAJES SOCIALES	70
APRENDIZAJES ÉTICOS	70
APRENDIZAJE PERSONAL	70
5.- CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	71
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	72

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio- profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno. Se orientan a formar para la vida, a los estudiantes, en el ejercicio de una profesión socialmente pertinente.

A través del PAP los alumnos acreditan el servicio social, y la opción terminal, en tanto sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

Resumen

En este proyecto PAP se estudiaron diversos inhibidores de corrosión para el aluminio y el acero. Entre los inhibidores estudiados, se probaron dos a base de residuos agroindustriales, provenientes de la destilación del limón y de la cáscara de mango. Los inhibidores se probaron en un sistema en el cual se utilizó ácido clorhídrico al 2.23% como agente corrosivo. Las variables a controlar fueron tanto la temperatura como la concentración del inhibidor; las corridas se realizaron temperatura ambiente y a 60 °C, a una concentración del 1, 5 y 10%. Se obtuvieron resultados óptimos para el acero, al presentar una eficiencia de inhibición de 96.48% con el inhibidor de mango, mientras que para el aluminio se obtuvo una eficiencia de inhibición regular, del 51.34%, empleando una temperatura de 60 °C.

1.- Introducción

1.1.- Objetivos

Este proyecto en su primera etapa tiene como objetivo principal estudiar la factibilidad de utilizar residuos de la industria agroalimentaria como inhibidores de corrosión en diferentes condiciones de operación, comparándolos contra un inhibidor de corrosión conocido.

1.2.- Justificación

La corrosión se define en un sentido amplio como el deterioro de los materiales metálicos por influencia del medio ambiente. Es una de las causas de la destrucción de diversos materiales utilizados por el ser humano, sean estos naturales o creados por el hombre. La corrosión tiene un importante impacto en la industria; un claro ejemplo de ello se presenta en las compañías de agua, ya que ésta corroe tanto las líneas de distribución como el sistema de bombas utilizado para el transporte de la misma. Así mismo, las plantas eléctricas utilizan distintas aleaciones, las cuales son costosas, y emplean sistemas de enfriamiento en sus equipos con el fin de evitar la corrosión, que se acelera a altas temperaturas. Como se puede observar, evitar o intentar retrasar la corrosión es costoso: tan sólo en Estados Unidos, los costos estimados de la corrosión rondan entre los 8 mil millones y los 126 mil millones de dólares al año; en México, el costo por pérdidas anuales de corrosión llega hasta los 13 mil millones de dólares debido al mantenimiento constante de las instalaciones dañadas por la misma ^{1,9}. Algunas de las razones por las cuales el costo por corrosión es alto son:

- Tiempo de inactividad de la planta: Dentro de este apartado entra tanto el costo de piezas como el tiempo de trabajo para remplazar las piezas.
- Pérdida de producto: Es la fuga de producto que se da través de las tuberías, tanques o contenedores que se dañan debido a la corrosión.
- Pérdida de eficiencia: La corrosión acumulada en tuberías o intercambiadores de calor disminuyen la eficiencia de los equipos.
- Contaminación: La presencia de algún contaminante que está contenido en alguna solución y promueve la corrosión.
- El diseño excesivo (sobrediseño): Debido a la falta de información, los equipos o sistemas manejan un diseño exagerado, con el fin de “erradicar” la presencia de corrosión.

La corrosión también puede llegar a afectar la salud y seguridad de las personas, ya que ésta puede causar que, al dañarse varios equipos, éstos provoquen accidentes que a su vez, pueden terminar matando a varias personas. Un ejemplo de lo anterior es el accidente de 1986 en Minnesota, donde una línea que transportaba gasolina causó la muerte a dos personas al incendiarse debido a los efectos de corrosión y erosión^{1,9}.

Los inhibidores “verdes” o los inhibidores “orgánicos” (en el sentido de biodegradables y amigables con el medio ambiente, no en el sentido habitual que se da a esta palabra en química) se han estado utilizando como reemplazo de los inhibidores tradicionales en medio acuoso, debido al impacto que éstos tienen en la salud del hombre y a los requerimientos ambientales que han aumentado en la última década. Los inhibidores verdes buscan ser un producto “limpio”, el cual permita reducir la emisión de contaminantes por medio del aprovechamiento de los recursos naturales, en este caso utilizando desechos de productos agroindustriales.

1.3.- Antecedentes del Proyecto

El desarrollo de inhibidores de corrosión amigables con el medio ambiente es un asunto que no es nuevo, pero que conserva su relevancia en la actualidad, como se puede comprobar en una revisión bibliográfica sobre el tema (ver por ejemplo ¹⁻⁵). En particular, este proyecto PAP surge como una colaboración entre el Departamento de Ingeniería Química del ITESO, con el profesor Fernando Hernández Ramírez, y el Departamento de Ingeniería Química del CUCEI, Universidad de Guadalajara, con el doctor Pedro Ortega Gudiño. En otoño de 2016, el grupo de trabajo de CUCEI realizó una visita a la Universidad de Nottingham, Reino Unido, con el fin de establecer contactos para colaboraciones de investigación en diversas disciplinas de la ingeniería química. A consecuencia de esta visita, la profesora Nicola M. Everitt, del área de ingeniería de materiales de la Universidad de Nottingham, expresó su interés en colaborar en una línea de investigación enfocada al desarrollo de inhibidores de corrosión a partir de residuos agroindustriales disponibles en el campo mexicano, basada en la experiencia previa que tiene su grupo de investigación en el desarrollo de inhibidores de corrosión a partir de hojas de sábila (*Aloe vera*) e inulina obtenida a partir de raíz de achicoria (*Cichorium intybus*)⁶. Este PAP es el primer trabajo de exploración de esta línea de investigación por parte del grupo CUCEI-ITESO.

1.4.- Contexto

El contexto que envuelve a este proyecto se fundamenta en la necesidad actual de minimizar el impacto que las actividades humanas tienen sobre el medio ambiente. La regla de las tres erres (reutilizar, reciclar y reducir) ejemplifica las acciones básicas que debemos tomar para enfocarnos a una economía sustentable. Reutilizar significa emplear nuevamente los productos de desecho, para darles un uso igual o diferente al que originalmente tenían. Reciclar implica transformar desechos en nuevos productos o en materias primas para su posterior utilización. Reducir la generación de residuos es, por supuesto, la estrategia más importante, ya que disminuye el impacto al medio ambiente de manera directa.

En el caso concreto de este proyecto, pretendemos realizar un tamizaje preliminar de algunos residuos de la industria agroalimentaria, con el fin de identificar si pueden ser utilizados como fuente potencial de inhibidores de corrosión.

1.5.- Enunciado breve del contenido del reporte

El documento presentado, contiene tanto las actividades realizadas como los resultados obtenidos referentes al estudio de diferentes inhibidores de corrosión verdes. Este documento se enfoca al análisis del comportamiento de la corrosión del aluminio y del acero en un medio ácido, utilizando diversos tipos de desechos agroindustriales como inhibidores de corrosión.

1.6.- Cronograma o plan de trabajo

Todas las actividades fueron realizadas en el Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (PTI) o edificio I ubicado en el ITESO. Las actividades realizadas se distribuyeron a lo largo del verano, el cual tiene 8 semanas; el tiempo en el que se realizaron las actividades, se muestra en el **Diagrama 1**. Cabe mencionar que cada semana se tenían aproximadamente dos reuniones con el asesor PAP con el fin de revisar los avances obtenidos y tomar las decisiones pertinentes para continuar con la realización del proyecto.

	Semana							
Evento	1	2	3	4	5	6	7	8
Revisión bibliográfica								
Propuesta de trabajo								
Compra del material								
Elección de reactivos								
Diseño de experimentos								
Preparación de las soluciones								
Experimentación								
Caracterización de las soluciones								
Redacción reporte								
Presentación final								

Diagrama 1.-Diagrama de Gantt para el proyecto.

2.- Desarrollo

2.1.- Sustento teórico y metodológico.

2.1.1.- Propiedades de los metales utilizados

El aluminio es un metal que posee interesantes propiedades físicas, mecánicas y químicas. Éste se usa en forma pura, aleado con otros metales o en compuestos no metálicos; resulta un componente útil para aplicaciones donde la ligereza es importante.

Tabla 1.-Propiedades físicas y químicas del aluminio¹¹.

Número atómico	13.00
Valencia	3
Estado de oxidación	3
Electronegatividad	1.50
Radio covalente (Å)	1.18
Radio iónico (Å)	0.50
Radio atómico (Å)	1.43
Configuración electrónica	[Ne]3s ² 3p ¹
Primer potencial de ionización (eV)	6.00
Masa atómica (g/mol)	26.98
Densidad (g/ml)	2.70
Punto de ebullición (°C)	2450.00
Punto de fusión (°C)	660.00

El acero al carbón es un producto ferroso cuyo porcentaje de carbono está comprendido entre los 0.05 y 1.7%. Éste es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil y adaptable.

Tabla 2.-Propiedades físicas y químicas del acero¹².

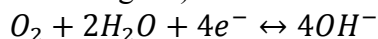
Conductividad eléctrica (S/m)	3×10^6
Coefficiente de dilatación (1/°C)	1.2×10^{-5}
Densidad media (Kg/m ³)	7850.00
Punto de ebullición (°C)	3000.00
Punto de fusión (°C)	1375.00

2.1.2.- Corrosión e Inhibición

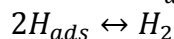
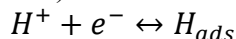
La corrosión es la destrucción gradual de un metal expuesto al medio ambiente, por medio de una solución u otros medios atribuidos a un proceso químico; en otras palabras, es un resultado inherente a la inestabilidad termodinámica de la mayoría de los metales o de corrientes eléctricas externas dispersas. La corrosión es una reacción heterogénea controlada por difusión; normalmente la corrosión se “acelera” en la zona de interfase^{9, 10}.

Las reacciones químicas involucradas en un proceso de corrosión, son:

- Reacción catódica (reducción de oxígeno) en medio neutro o alcalino:



- Reacción catódica (en solución ácida):



- Reacción anódica:



Un inhibidor es una sustancia que retarda la corrosión cuando éste es añadido a un ambiente en pequeñas concentraciones. Los inhibidores de corrosión funcionan principalmente por tres mecanismos:

- 1) Adsorción: una solución inhibidora entra en contacto con la superficie corroída del metal, adsorbiéndose en su superficie e interfiriendo con alguna de las semirreacciones anódica o catódica.
- 2) Formación de película: Se induce la formación de un producto el cual forma una película sobre el metal con el fin de protegerlo. Ésta puede formarse al aplicar un potencial eléctrico sobre el metal.
- 3) Modificación de características del medio: Se cambian las características del ambiente, ya sea produciendo precipitados que protegen el metal o removiendo (desactivando) un constituyente agresivo con el fin de evitar la corrosión, por medio de la adición de un componente capaz de capturar y neutralizar a la especie agresiva.

Un inhibidor es persistente cuando tiende a resistir el desprendimiento de la superficie que protege o cuando permanece en el medio ambiente a una concentración suficiente para ser protector. Los inhibidores pueden ser introducidos en el medio de dos maneras: por lotes (*batch*) o continua; la primera se refiere a introducir una gran cantidad de inhibidor de manera lenta al sistema, mientras que la segunda se refiere a introducir cantidades pequeñas al sistema todo el tiempo. Hay dos factores importantes que afectan el desempeño de los inhibidores: la temperatura y la velocidad de flujo. Normalmente la efectividad del inhibidor

es influenciada de manera negativa cuando la temperatura aumenta y cuando la velocidad a manejar es alta; sin embargo, a una baja velocidad también se puede obtener una efectividad adversa⁹.

Existen problemas asociados con la inhibición que afectan a los materiales, los cuales se pueden clasificar de acuerdo al enfoque de control de corrosión, como:

- 1) Cambio de los materiales dentro del sistema.
- 2) Cambios en el ambiente.
- 3) Cambios en la barrera (interfase) entre el material y el medio.

2.1.2.1.- Clasificación de Inhibidores

La selección de un inhibidor depende del metal y del ambiente que lo rodea; por lo tanto, los inhibidores pueden clasificarse en dos: acondicionadores ambientales y los inhibidores de interfase. Los acondicionadores ambientales disminuyen la corrosividad del medio al eliminar las sustancias agresivas; normalmente éstos controlan la corrosión al disminuir el oxígeno contenido en el medio. Los inhibidores de interfase controlan la corrosión al formar una película en la interfase metal/ambiente; éstos inhibidores se pueden clasificar en dos: fase líquida y fase vapor. Los inhibidores de fase líquida presentan tres tipos de inhibición: anódica, catódica y mixta; mientras que los inhibidores de fase vapor otorgan protección temporal contra la corrosión atmosférica y normalmente se utilizan sustancias que tienen una baja, pero significativa, presión de vapor en un medio cerrado⁹.

2.1.3.- Mecanismos de Inhibición

Dado el carácter electroquímico de la corrosión acuosa, se puede lograr una reducción de la velocidad de la corrosión mediante:

- Inhibición Anódica
- Inhibición Catódica
- Inhibición Mixta

2.1.3.1.- Inhibición Anódica

Involucra la polarización de la reacción parcial anódica, con reducción de la corriente de corrosión y desplazamiento del potencial hacia valores más positivos. Los inhibidores más comunes de este grupo se conocen como “pasivantes”, los cuales son agentes oxidantes capaces de desplazar el potencial de corrosión hasta la zona de pasividad del metal. Las propiedades que pueden dificultar la inhibición son aquellas que tienden a destruir la pasividad, como lo son: la temperatura, el pH bajo, concentraciones elevadas de sales y las concentraciones bajas de oxígeno⁹.

2.1.3.2.- Inhibición Catódica

Ésta se produce bajo dos efectos posibles: la reducción en la velocidad de reacción catódica, o la restricción del suministro de especies reducibles en el cátodo debido a la precipitación selectiva en dicha área. Como resultado se obtiene un aumento en la polarización en la reacción catódica, con disminución de la corriente de corrosión y desplazamiento potencial hacia valores más negativos⁹.

2.1.3.3.- Inhibición Mixta

La inhibición mixta ocurre cuando un inhibidor modifica ambas curvas (la de inhibición anódica y la de inhibición catódica) de manera simultánea. Así mismo, el desplazamiento del potencial de corrosión es pequeño⁹.

2.1.4.- Inhibidores Orgánicos

Los inhibidores orgánicos de corrosión (“orgánico” en el sentido que tiene en la química orgánica) pueden clasificarse como anódicos, catódicos, o mixtos; dicha clasificación depende principalmente de la reacción que ocurra en la superficie del metal y de cómo afectan al potencial eléctrico en la interfase metal/ambiente. La estructura molecular del inhibidor orgánico determinará si el compuesto será un inhibidor efectivo para un sistema específico; hay ciertos factores que contribuyen a que un inhibidor sea efectivo, los cuales son:

- 1) El tamaño de la molécula.
- 2) La aromaticidad y la unión conjugada.
- 3) La longitud de la cadena de carbonos.
- 4) Resistencia de unión al sustrato metálico.
- 5) El número y el tipo de enlace molecular.
- 6) Habilidad para que la capa se compacte o entrecruce.
- 7) La capacidad de formar complejos con el átomo como un sólido dentro de la red metálica.

La adsorción de inhibidores orgánicos en la interfase “solución-metal” es un fenómeno común; sin embargo, el tipo de adsorción depende de la estructura de la molécula, la composición química de la solución, la naturaleza de la superficie metálica y el potencial electroquímico en la interfase solución-metal. Los tipos de adsorción más comunes son la quimisorción, la adsorción electrostática y la adsorción con formación de enlaces π entre orbitales. Para elegir el inhibidor que se utilizará en un sistema también es necesario verificar la compatibilidad del inhibidor con el sistema, la temperatura de operación, el pH de la solución, la velocidad de difusión, los posibles efectos secundarios y los costos de operación. Hay sustancias que pueden afectar la compatibilidad del inhibidor orgánico en un medio acuoso, dichas sustancias se muestran en la **Tabla 3**⁹.

Tabla 3.-Sustancias que afectan la compatibilidad de los inhibidores orgánicos en medios acuosos⁸.

Sustancia	Descripción
Cationes metálicos	Los cationes divalentes pueden reaccionar con bicarbonatos para formar precipitados, a altas concentraciones éstos pueden interferir en la inhibición al precipitar los inhibidores.
Álcali, (OH ⁻)	Para el acero, la corrosión en una solución alcalina es controlada por la velocidad de difusión de oxígeno. Para otros metales, si la solución se encuentra a un pH arriba de 9, la velocidad de corrosión aumentará y la inhibición será necesaria; si el pH se mantiene debajo de 9, entonces la inhibición no será necesaria.

Cloruros (Cl^-)	A grandes concentraciones de iones cloruro, mayor concentración de inhibidor se requerirá debido a que estos iones se adsorben fácilmente. Los cloruros pueden inducir corrosión por picado en muchos materiales.
Sulfatos (SO_4^{2-})	Los sulfatos causan la coagulación de largas cadenas de hidrocarburos, bactericidas e inhibidores de corrosión.
Bicarbonatos (HCO_3^-)	Los bicarbonatos son inhibidores naturales ya que forman incrustaciones minerales; sin embargo, en agua blanda, los inhibidores se utilizan debido a la acidez producida por el exceso de dióxido de carbono.
Sulfuros (S^{2-})	Los sulfuros precipitan diversos iones metálicos, por lo tanto, se utilizan inhibidores oxidantes en grandes cantidades para formar sulfuros; sin embargo, esto puede acelerar la corrosión.
Oxígeno (O_2)	Si el oxígeno se controla y se mantiene por debajo de 0.1 ppm, se controla la corrosión en la mayoría de los sistemas.
Ácido (H^+)	La velocidad de corrosión aumenta al incrementar la concentración de iones hidrógeno.
Ácidos nafténicos (R-COOH)	En sistemas ácidos, los inhibidores son añadidos para el control de la corrosión. También afectan la tensión interfacial.

2.2.- Planeación y seguimiento del proyecto

En este proyecto se eligió trabajar con diferentes residuos orgánicos provenientes de la industria agrícola (cáscaras de mango, agua residual proveniente de la destilación de limón persa) debido a que éstos pueden ser encontrados en abundancia dentro de México. Los metales seleccionados para realizar las pruebas de corrosión fueron dos: el aluminio y el acero; dichos metales fueron elegidos debido a que ambos son altamente utilizados a nivel mundial y por el fácil acceso que se tiene a los mismos. Además, representan dos metales con comportamientos químicos diferentes: el aluminio es capaz de pasivarse y se corroe fácilmente en medio ácido y alcalino; el acero, en cambio, es más resistente a la corrosión en medio alcalino, pero se corroe fácilmente en medio ácido⁶.

2.2.1.- Metodología

2.2.1.1.- Piezas

Como ya se mencionó con anterioridad, se utilizaron piezas de aluminio y de acero, la cuales se cortaron de una solera; se procuró que cada pieza mantuviera las mismas dimensiones. Las dimensiones aproximadas fueron de 6 cm x 2 cm y de 5 cm x 2.53 cm para el aluminio y el

acero, respectivamente. El espesor en la piezas de aluminio fue 0.19 cm, mientras que para las piezas de acero, 0.35 cm.

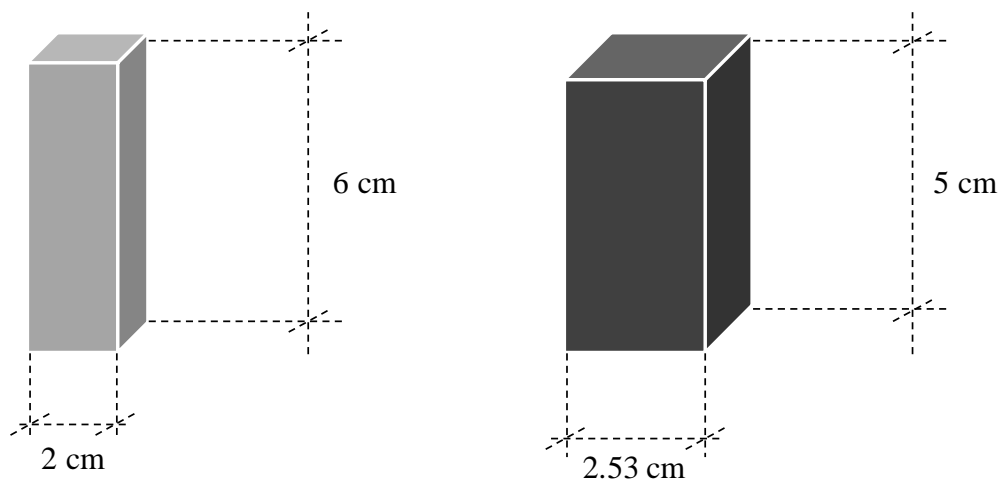


Diagrama 2.-Dimensiones de las piezas utilizadas de aluminio y acero, respectivamente.

Cada pieza recibió un tratamiento previo antes de ser sometida a la prueba de corrosión, lo anterior se muestra en el **Diagrama 2**.



Diagrama 3.-Tratamiento para cada probeta previo a las pruebas de corrosión¹¹.

Para el proceso de tratamiento mecánico, se utilizó una lija para agua del número 1200; se lijó toda la pieza con el fin de emparejar y retirar la capa de óxido nativo existente sobre la misma. El proceso de desengrasado consistió en sumergir las piezas en detergente para ropa durante 40 minutos, una vez transcurrido ese tiempo se enjuagaron y secaron las piezas. Por último, las piezas se limpiaron con alcohol etílico; para ello se utilizaron guantes con el fin de evitar la contaminación de las mismas.

2.2.1.2.- Inhibidores

Los inhibidores utilizados en este trabajo, a excepción de uno, son orgánicos (provenientes de vegetales). Éstos se prepararon a partir de desechos de frutas de alto consumo en México. Las soluciones inhibidoras se prepararon con y sin conservador; el conservador utilizado fue

benzoato de sodio a una concentración de 0.1% en peso. El benzoato de sodio es una sal antiséptica soluble en agua, que normalmente se utiliza como conservador de alimentos; también puede ser utilizado como inhibidor de corrosión, por lo tanto, se busca estudiar si su presencia afecta de algún modo la inhibición de corrosión además de su efecto como conservador^{9, 10}.

2.2.1.2. A.- Inhibidor de limón

Este inhibidor se obtuvo como un subproducto proveniente de la destilación de cáscaras de limón persa (*Citrus × latifolia*) para la extracción del aceite esencial. Durante la destilación, se colocan las cáscaras de limón persa en un recipiente con agua hirviendo y una entrada de vapor. El aceite de limón es arrastrado por el vapor de agua, y se recupera en un condensador. Esta partida constituye el aceite de primera clase. Enseguida, se desechan las cáscaras ya cocidas y el líquido de cocción se extrae con hexano. Al evaporar el hexano, se obtiene una segunda partida de aceite de menor calidad. El líquido de cocción, ya agotado, es el que se utilizó como inhibidor. Las propiedades fisicoquímicas para la solución utilizada se presentan en la **Tabla 4**.

Tabla 4.-Propiedades fisicoquímicas para el inhibidor de limón.

Sin conservador	
Propiedad	Valor
pH	5.00
Densidad (g/ml)	0.7711
Con conservador	
Propiedad	Valor
pH	5.20
Densidad (g/ml)	0.8694

2.2.1.2. B.- Inhibidor de mango.

El inhibidor de mango se preparó a partir de 160.88g de cáscaras frescas de mango (del tipo “petacón”, probablemente de la variedad Tommy Atkins) y 800 ml de agua destilada; Las cáscaras, sin ningún tratamiento previo, se licuaron junto con 600 ml de agua destilada utilizando una licuadora para alimentos. El licuado se filtró con el fin de retirar los sólidos remanentes del mango y recuperar sólo la parte líquida, la cual se utilizó como inhibidor. Se añadieron 200 ml de agua destilada adicional para limpiar cualquier residuo que pudo haberse quedado tanto en la licuadora como en el filtro. Al final se recuperaron 74.59 gramos de residuos sólidos que se descharon, y 912.89g de la solución inhibidora, teniendo una pérdida del 5%. Las propiedades fisicoquímicas para esta solución, se presentan en la **Tabla 5**.

Tabla 5.-Propiedades fisicoquímicas para el inhibidor de cáscara de mango.

Sin conservador	
Propiedad	Valor
pH	3.40
Densidad (g/ml)	0.8316
Con conservador	
Propiedad	Valor
pH	3.80

Densidad (g/ml)	0.8618
-----------------	--------

2.2.1.3.- Agente corrosivo

Los agentes corrosivos más comunes son los ácidos fuertes, las bases fuertes y las disoluciones concentradas de ácidos débiles y bases débiles; éstos son capaces de desnaturalizar proteínas y deshidratar cualquier cosa que entra en contacto con éstos.

2.2.1.3.A.- Ácido Clorhídrico

El agente corrosivo utilizado en este trabajo fue el ácido clorhídrico a una concentración de 2.234% en peso, determinada por titulación con hidróxido de sodio previamente estandarizado con ftalato ácido de potasio. El ácido clorhídrico (HCl) es un ácido fuerte que se disocia completamente con una disolución acuosa. Las propiedades físicas de éste, dependen de la concentración de la solución utilizada.

2.2.1.3.- Sistema utilizado

Debido a que las corridas realizadas debían permanecer a una temperatura constante, se utilizó una hielera de unicel junto con un regulador de temperatura. El regulador de temperatura, también conocido como recirculador sumergible para cocción al vacío (*sous-vide*), se encargó de calentar y agitar el agua que se encontraba dentro del sistema.

Las piezas tanto de acero como de aluminio, se colocaron dentro de un contenedor de plástico, en el cual, además de contener tres piezas de aluminio o de acero, había una solución preparada con el agente corrosivo y con el inhibidor a utilizar. El sistema descrito con anterioridad se puede observar en el **Diagrama 4**.



Diagrama 4.-Sistema utilizado para realizar las corridas a una temperatura constante.

3.- Resultados**3.1.- Tablas de resultados****Corridas sin el uso de inhibidores orgánicos**

Tabla 6.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando únicamente ácido clorhídrico y benzoato de sodio como inhibidor a temperatura ambiente, respectivamente.


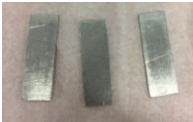


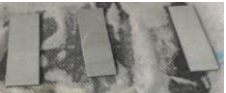


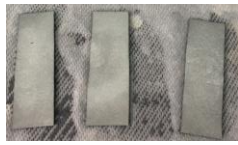





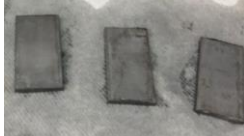





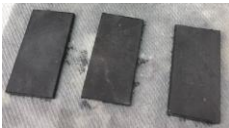
Benzoato de sodio	Material	Aluminio	Ácido clorhídrico	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 7.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando únicamente ácido clorhídrico y benzoato de sodio como inhibidor a temperatura ambiente respectivamente.

Benzoato de sodio	Material	Acero	Ácido clorhídrico	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama**

5, Diagrama 6¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., **Diagrama 7**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y **Diagrama 8**.



Diagrama 5.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor benzoato de sodio al 0.1% a temperatura ambiente.



Diagrama 6.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor benzoato de sodio al 0.1% a temperatura ambiente.



Diagrama 7.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, sin utilizar algún inhibidor a temperatura ambiente.



Diagrama 8.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, sin utilizar algún inhibidor a temperatura ambiente.

Las piezas de acero presentan picaduras en algunas zonas de la pieza, e igualmente presentan zonas brillantes; lo anterior se muestra en el **Diagrama 5** y **Diagrama 7**. Las piezas de aluminio solo se muestran deterioradas, como lo muestra el **Diagrama 6** y el **Diagrama 8**.

Tabla 8.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando únicamente ácido clorhídrico y benzoato de sodio como inhibidor a 60°C, respectivamente.

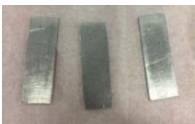

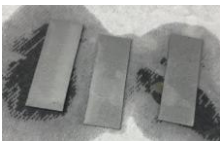






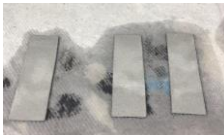


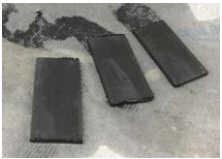
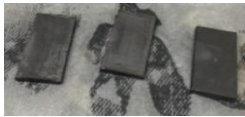





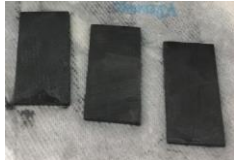
Benzoato de sodio	Material	Aluminio	Ácido clorhídrico puro	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 9.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando únicamente ácido clorhídrico y benzoato de sodio como inhibidor a 60°C, respectivamente.

Benzoato de sodio	Material	Acero	Ácido clorhídrico puro	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el ¡Error! No

se encuentra el origen de la referencia. **Diagrama 9, Diagrama 10, Diagrama 11 y Diagrama 12.**



Diagrama 9.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor benzoato de sodio al 0.1% a 60 °C.



Diagrama 10.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor benzoato de sodio al 0.1% a 60 °C.



Diagrama 11.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, sin utilizar algún inhibidor a 60 °C.



Diagrama 12.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, sin utilizar algún inhibidor a 60 °C.

Como se puede observar en el **Diagrama 9** y **Diagrama 11** el benzoato de sodio pica en mayor grado el acero a comparación del ácido clorhídrico, sin embargo, la diferencia no es considerablemente mayor. Para las piezas de aluminio, tanto el benzoato de sodio como el ácido clorhídrico, lo corroen uniformemente y se ve un desgaste en la apariencia de las piezas; lo anterior se puede observar en el **Diagrama 10** y **Diagrama 12**.

Corridas a una concentración de inhibidor al 1%

Tabla 10.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

















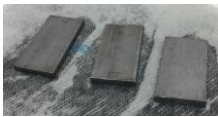
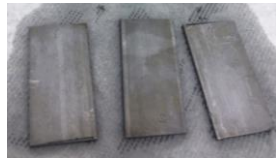


Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 11.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 13, Diagrama 14, Diagrama 15 y Diagrama 16** Diagrama 28.



Diagrama 13.-Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 14.- Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 15.- Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 16.- Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a temperatura ambiente.

Todas las piezas de acero presentan una corrosión muy similar: hay zonas más claras que otras y las piezas presentan leves picaduras sobre la superficie; sin embargo, las piezas que tienen como inhibidor el mango, ya sea con o sin conservador, presentan un color mucho más oscuro que las piezas con inhibidor de limón.

Tabla 12.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

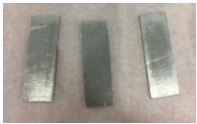
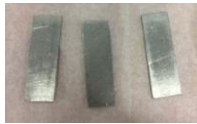
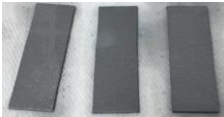
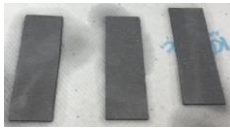
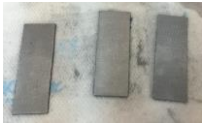
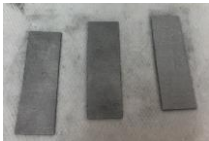
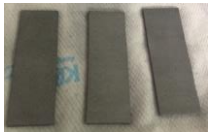
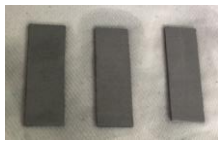


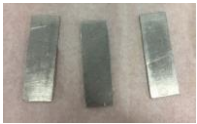
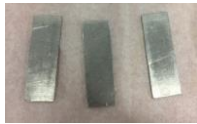
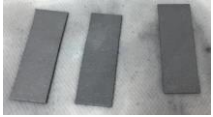
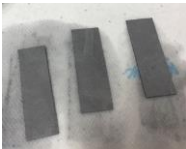
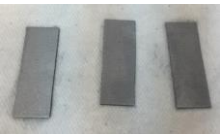
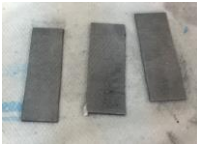
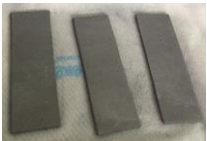
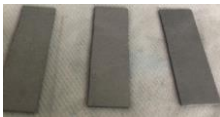
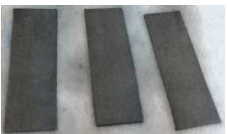
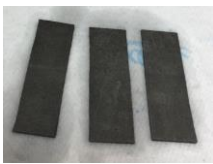
Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 13.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 17, Diagrama 18, Diagrama 19 y Diagrama 24.**



Diagrama 17.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a 60°C.



Diagrama 18.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a 60°C.

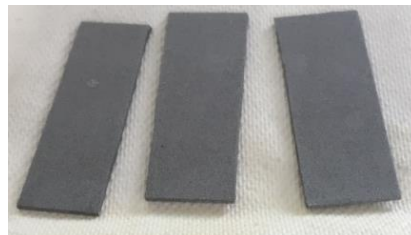


Diagrama 19.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a 60°C.

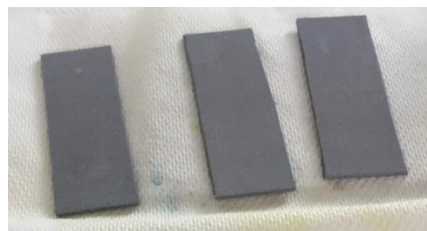


Diagrama 20.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a 60°C.

Todas las piezas de aluminio, sin importar su medio de corrosión, presentaron un desgaste muy similar, donde todas perdieron su color “original” y la textura de cada pieza cambio de liso a rugoso.

Tabla 14.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60 °C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.



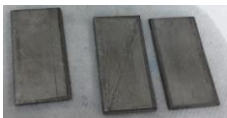

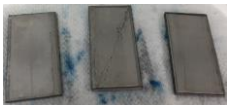
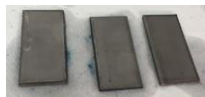



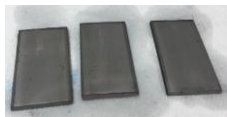



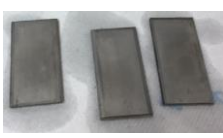




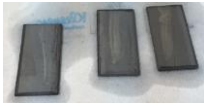
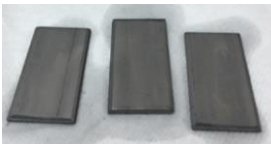
Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 15.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60 °C, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 21, Diagrama 22, Diagrama 15 y Diagrama 24**.

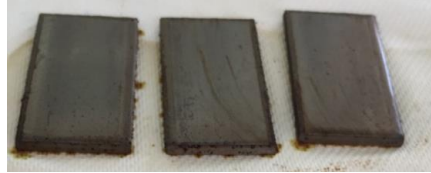


Diagrama 21.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a 60°C.

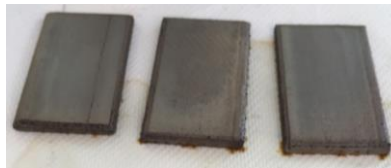


Diagrama 22.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a 60°C.



Diagrama 23.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a 60°C.

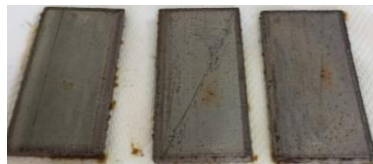


Diagrama 24.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a 60°C.

Todas las piezas de acero presentan una corrosión muy similar: hay pequeñas zonas que se oscurecieron y las piezas presentan leves picaduras sobre la superficie; sin embargo, las piezas que tienen como inhibidor el mango, ya sea con o sin conservador, presentan un color mucho más oscuro que las piezas con inhibidor de limón.

Tabla 16.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

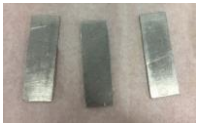
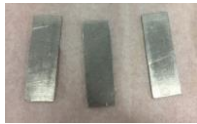
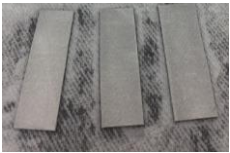

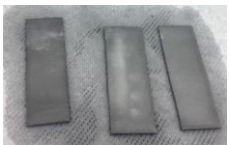
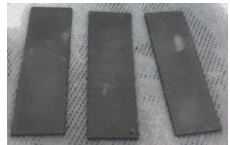
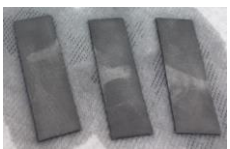

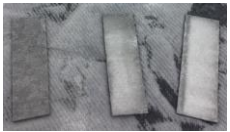







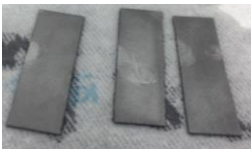



Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 17.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 25, Diagrama 26, Diagrama 27 y Diagrama 28**.



Diagrama 25.-Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a 60°C.



Diagrama 26.- Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a 60°C.

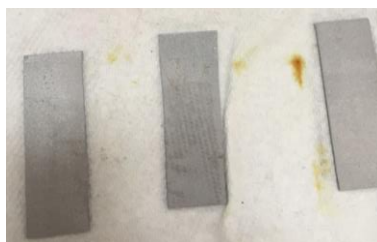


Diagrama 27.- Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a 60°C.

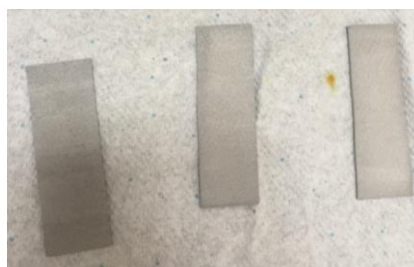


Diagrama 28.- Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a 60°C.

Todas las piezas de aluminio, sin importar su medio de corrosión, presentaron un desgaste muy similar, donde todas perdieron su color “original” y la textura de cada pieza cambio de liso a rasposo.

Corridas a una concentración de inhibidor al 5%

Tabla 18.- Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

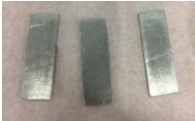
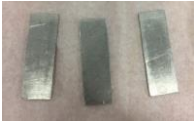

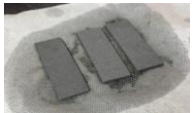
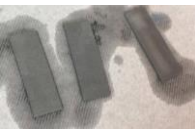
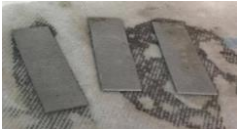
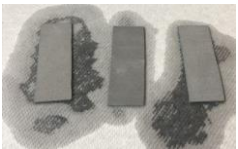

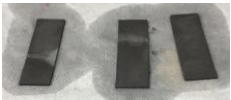
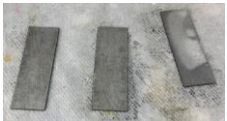
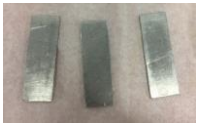
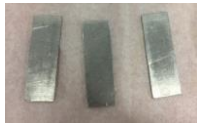
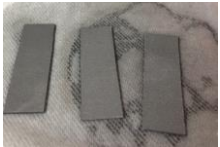

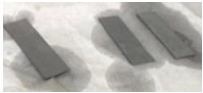
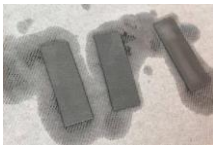
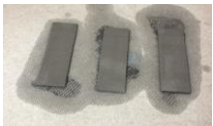
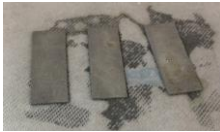
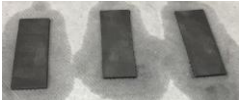
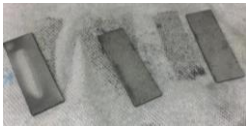
Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 19.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 29, Diagrama 30, Diagrama 31, y Diagrama 32.**

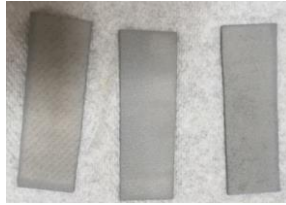


Diagrama 29.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor Jugo de cáscara de limón sin conservador al 5% a temperatura ambiente.

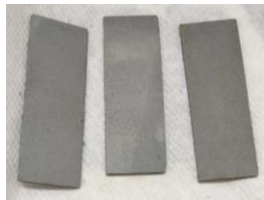


Diagrama 30.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón con conservador al 5% a temperatura ambiente.

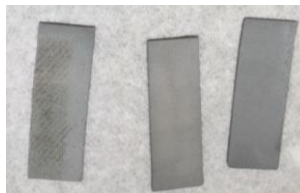


Diagrama 31.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango sin conservador al 5% a temperatura ambiente.

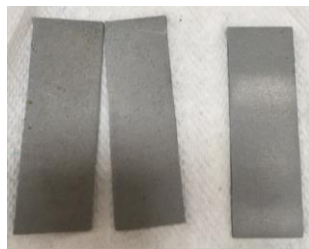


Diagrama 32.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango con conservador al 5% a temperatura ambiente.

Como se puede observar en el **Diagrama 29, Diagrama 30, Diagrama 31, y Diagrama 32,** la diferencia visual entre los resultados obtenidos es muy poca; por lo tanto, para saber cuál inhibidor presenta mejores resultados, se obtuvo la eficiencia de cada uno. Lo anterior se muestra en la **Sección 3.3.1.**

Tabla 20.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.





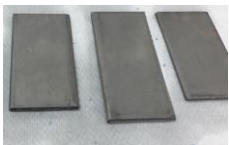
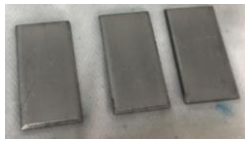








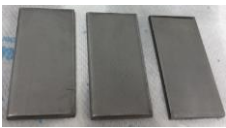
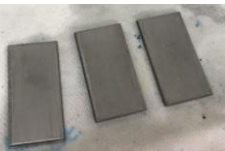




Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 21.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 33, Diagrama 34, Diagrama 35 y Diagrama 36.**



Diagrama 33.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor Jugo de cáscara de limón sin conservador al 5% a temperatura ambiente.



Diagrama 34.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón con conservador al 5% a temperatura ambiente.



Diagrama 35.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango sin conservador al 5% a temperatura ambiente.



Diagrama 36.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango con conservador al 5% a temperatura ambiente.

Como se puede observar en los **Diagrama 33 y Diagrama 35** la diferencia visual entre las piezas es muy poca, sin embargo, la diferencia entre las piezas en las que se utilizó el mango como inhibidor se oscurecieron más que las piezas en las que se empleó el extracto de limón como inhibidor. Por otro lado, en todas las piezas se presentan manchas de las mismas como si estas se hubieran desgastado.

Tabla 22.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente.

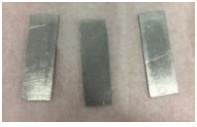
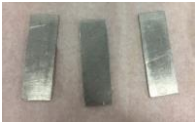

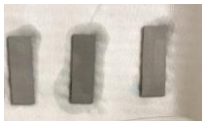

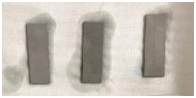


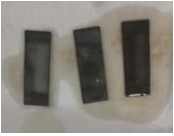











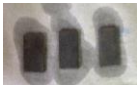
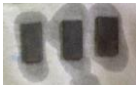






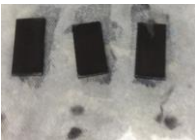
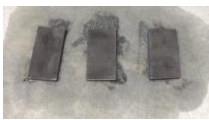






Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	
	Peso 6 (g)			Peso 6 (g)	
	Peso 7 (g)			Peso 7 (g)	
	Peso 8 (g)			Peso 8 (g)	
	Peso 9 (g)			Peso 9 (g)	

Tabla 23.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	
	Peso 6 (g)			Peso 6 (g)	
	Peso 7 (g)			Peso 7 (g)	
	Peso 8 (g)			Peso 8 (g)	
	Peso 9 (g)			Peso 9 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 37, Diagrama 38, Diagrama 39, y Diagrama 40.**



Diagrama 37.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón con conservador al 5% a 60 °C.

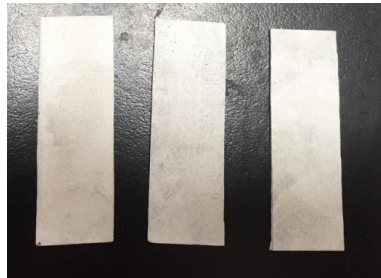


Diagrama 38.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón sin conservador al 5% a 60 °C.

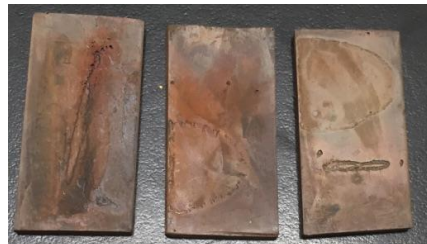


Diagrama 39.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango sin conservador al 5% a 60 °C.



Diagrama 40.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango con conservador al 5% a 60 °C.

Como se puede observar en el **Diagrama 37** y **Diagrama 39**, el inhibidor a base de cáscaras de mango pica el acero, mientras que el inhibidor a base de limón lo ataca uniformemente. Para las piezas de aluminio tanto el inhibidor de mango como el de limón, lo corroen uniformemente y se ve un desgaste en la apariencia de las piezas; lo anterior se puede observar en el **Diagrama 38** y **Diagrama 40.**

Tabla 24.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60 °C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

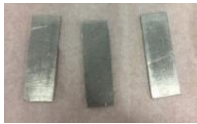
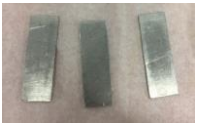
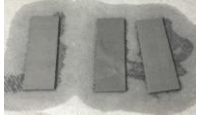

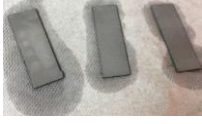
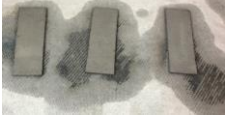




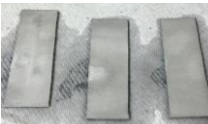



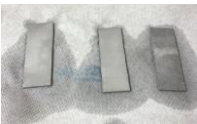

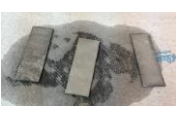
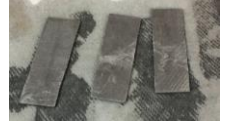




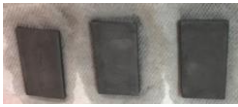
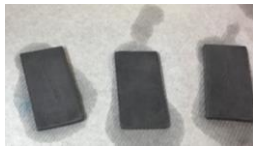
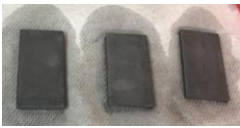
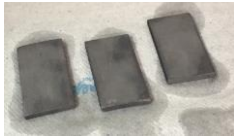

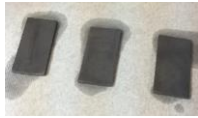


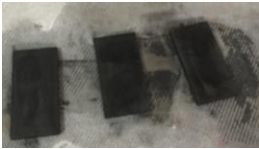



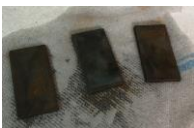

Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	
	Peso 6 (g)			Peso 6 (g)	
	Peso 7 (g)			Peso 7 (g)	
	Peso 8 (g)			Peso 8 (g)	
	Peso 9 (g)			Peso 9 (g)	

Tabla 25.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60 °C, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	
	Peso 6 (g)			Peso 6 (g)	
	Peso 7 (g)			Peso 7 (g)	
	Peso 8 (g)			Peso 8 (g)	
	Peso 9 (g)			Peso 9 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 41, Diagrama 42, Diagrama 43, y Diagrama 44.**



Diagrama 41.-Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón sin conservador al 5% a 60 °C.



Diagrama 42.- Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de limón con conservador al 5% a 60 °C.



Diagrama 43.-Piezas de acero corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango sin conservador al 5% a 60 °C.



Diagrama 44.-Piezas de aluminio corroidas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor jugo de cáscara de mango con conservador al 5% a 60 °C.

Como se puede observar en el **Diagrama 41 y Diagrama 43**, el inhibidor a base de cáscaras de mango pica el acero, mientras que el inhibidor a base de limón lo ataca uniformemente; si se comparan estos resultados con los anteriores, se puede observar que las piezas que llevan conservador presentan mayores picaduras en la superficie. Para las piezas de aluminio tanto el inhibidor de mango como el de limón, lo corroen uniformemente y se ve un desgaste en la apariencia de las piezas; lo anterior se puede observar en el **Diagrama 42 y Diagrama 44.**

Corridas a una concentración de inhibidor al 10%

Tabla 26.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente, ambas preparadas con conservador.






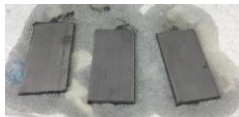

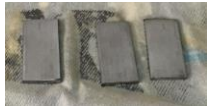
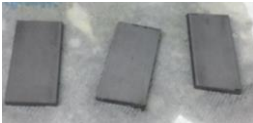










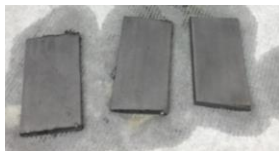
Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 27.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 45, Diagrama 46, Diagrama 47 y Diagrama 48.**



Diagrama 45.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 46.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 47.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 48.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a temperatura ambiente.

Todas las piezas de acero presentan una corrosión muy similar: hay zonas más claras que otras y las piezas presentan leves picaduras sobre la superficie.

Tabla 28.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

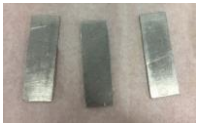
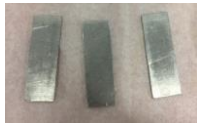
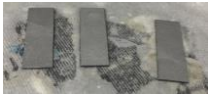















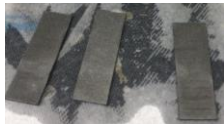

Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 29.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a temperatura ambiente, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 49, Diagrama 50, Diagrama 51 y Diagrama 52.**

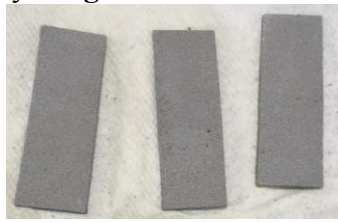


Diagrama 49-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a temperatura ambiente.

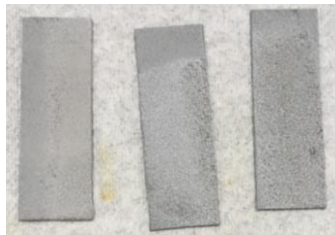


Diagrama 50.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a temperatura ambiente.

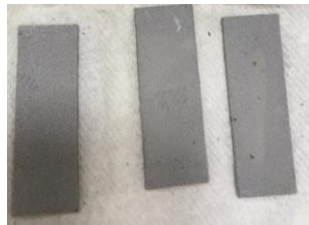


Diagrama 51.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a temperatura ambiente.



Diagrama 52.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a temperatura ambiente.

Todas las piezas de aluminio, sin importar su medio de corrosión, presentaron un desgaste muy similar, donde todas perdieron su color “original” y la textura de cada pieza cambio de liso a rugoso; sin embargo, las piezas que tienen como inhibidor el mango, ya sea con o sin conservador, presentan un color mucho más oscuro que las piezas con inhibidor de limón.

Tabla 30.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.






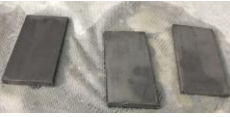


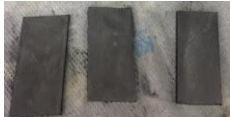




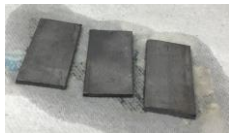

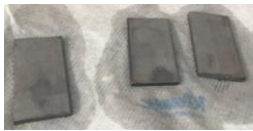



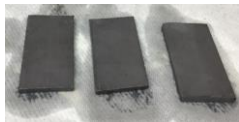
Limón con conservador	Material	Acero	Mango con conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 31.-Resultado de las pruebas de corrosión para el acero utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Acero	Mango sin conservador	Material	Acero
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 53, Diagrama 58, Diagrama 55 y Diagrama 56.**

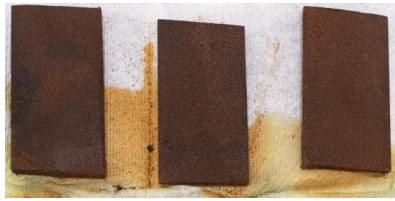


Diagrama 53.-Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a 60°C.



Diagrama 54.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a 60°C.



Diagrama 55.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a 60°C.



Diagrama 56.- Piezas de acero corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a 60°C

Todas las piezas de acero presentan una corrosión muy similar: hay zonas más claras que otras y las piezas presentan leves picaduras sobre la superficie.

Tabla 32.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente, ambas preparadas con conservador.

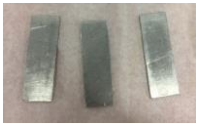
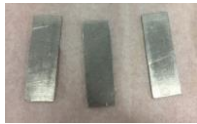
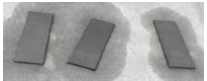
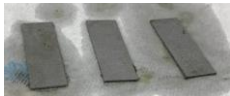


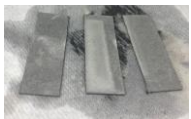
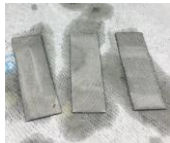

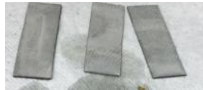
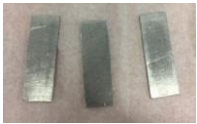
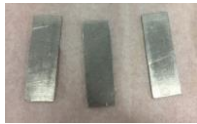
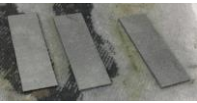
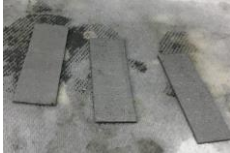




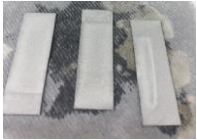
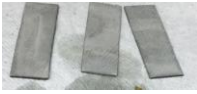
Limón con conservador	Material	Aluminio	Mango con conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Tabla 33.-Resultado de las pruebas de corrosión para el aluminio utilizando como inhibidor el jugo de limón y la cáscara de mango a 60°C, respectivamente.

Limón sin conservador	Material	Aluminio	Mango sin conservador	Material	Aluminio
	Peso 1 (g)			Peso 1 (g)	
	Peso 2 (g)			Peso 2 (g)	
	Peso 3 (g)			Peso 3 (g)	
	Peso 4 (g)			Peso 4 (g)	
	Peso 5 (g)			Peso 5 (g)	

Las piezas obtenidas después de la última corrida, se dejaron secar por un día con el fin de observar la corrosión que hubo en cada una de ellas; lo anterior se muestra en el **Diagrama 57, Diagrama 58, Diagrama 59 y Diagrama 60.**

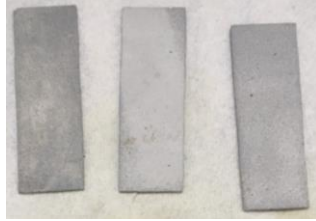


Diagrama 57.-Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango con conservador a 60°C.



Diagrama 58.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón con conservador a 60°C.

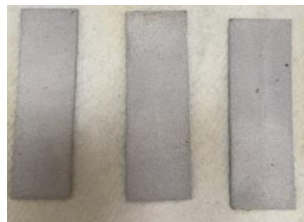


Diagrama 59.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor cáscara de mango sin conservador a 60°C.



Diagrama 60.- Piezas de aluminio corroídas con una solución de ácido clorhídrico al 2.23%, utilizando como inhibidor el jugo de limón sin conservador a 60°C

Todas las piezas de aluminio, sin importar su medio de corrosión, presentaron un desgaste muy similar, donde todas perdieron su color original y la textura de cada pieza cambio de liso a rugoso; sin embargo, las piezas que tienen como inhibidor el mango, ya sea con o sin conservador, presentan un color mucho más oscuro que las piezas con inhibidor de limón.

3.2.- Prueba de Homocedasticidad

La homocedasticidad es una propiedad del modelo de regresión lineal y expresa si el error cometido dentro de un modelo tiene siempre la misma varianza⁷.

A los resultados obtenidos se le aplicaron una prueba de homocedasticidad con el fin de conocer si existe una igualdad de varias varianzas en el estudio de la cinética de corrosión. Esta prueba se realizó principalmente para el acero debido a que la velocidad de corrosión no presenta cambios bruscos conforme el tiempo, mientras que para el aluminio ocurre todo lo contrario. La prueba utilizada fue la de Cochran, la cual es particularmente útil para detectar si una varianza es mucho mayor que las otras. Los resultados obtenidos se observan en las **Tabla 34** y

Tabla 35, en las cuales se puede observar que las varianzas, en la mayoría de los casos, si son iguales y por lo tanto se acepta la prueba de homocedasticidad.

Tabla 34.- Resultados de la prueba de homocedasticidad para el aluminio.

Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	Suma Varianza	G teórica	G experimental	Igualdad de varianza	Acepta hipótesis
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	17.2855	0.7977	0.5567	Si	Si
Ninguno	Ninguno		Ninguno	5.8274		0.5087	Si	Si
Mango	Si		1%	27.9415		0.8149	No	No
Mango	No			37.0981		0.6901	Si	Si
Limón	Si			71.0477		0.7714	Si	Si
Limón	No			1076.1645		0.7503	Si	Si
Mango	Si		5%	13.1856	0.7457	0.5707	Si	Si
Mango	No			167.2056		0.7264	Si	Si
Limón	Si			11.3503		0.8029	No	No
Limón	No			6.7141		0.9056	No	No
Mango	Si		10%	46.1289	0.7977	0.9125	No	No
Mango	No			11.6105		0.6681	Si	Si
Limón	Si			4.6096		0.6295	Si	Si
Limón	No			33.0663		0.4267	Si	Si
Benzoato	Ninguno	60	1%	1033.0905	0.7977	0.5567	Si	Si
Ninguno	Ninguno		Ninguno	400.5346		0.5087	Si	Si
Mango	Si		1%	1.6388		0.8517	No	No
Mango	No			225.9894		0.7178	Si	Si
Limón	Si			90.3093		0.6192	Si	Si
Limón	No			6012.0044		0.8030	No	No
Mango	Si		5%	55.1490	0.6530	0.7691	No	No
Mango	No			123.8056		0.7282	No	No
Limón	Si			121.6704		0.8167	No	No
Limón	No			106.4207		0.7945	No	No
Mango	Si		10%	1031.5999	0.7977	0.7043	Si	Si
Mango	No			503.5424		0.0438	Si	Si
Limón	Si			102.5096		0.7133	Si	Si
Limón	No			6.2374		0.1185	Si	Si

Tabla 35.-Resultados de la prueba de homocedasticidad para el acero.

Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	Suma Varianza	G teórica	G experimental	Igualdad de varianza	Acepta hipótesis
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	25.2741	0.7977	0.6969	Si	Si
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.6507		0.4698	Si	Si
Mango	Si		1%	0.0162		0.9087	No	No
Mango	No			0.0384		0.7235	Si	Si
Limón	Si			0.0194		0.4912	Si	Si
Limón	No		5%	0.0055	0.7457	0.6264	Si	Si
Mango	Si			0.0004		0.6571	Si	Si
Mango	No			0.0007		0.8033	No	No
Limón	Si			0.0021		0.3704	Si	Si
Limón	No			0.0025		0.5126	Si	Si
Mango	Si		10%	0.0091		0.3979	Si	Si
Mango	No			0.5411		0.6422	Si	Si
Limón	Si			8.7962		0.5523	Si	Si
Limón	No			0.0723		0.6729	Si	Si
Benzoato	Ninguno	60	1%	18.6931	0.7977	0.7322	Si	Si
Ninguno	Ninguno		Ninguno	1376.3899		0.7332	Si	Si
Mango	Si		1%	0.0133		0.9066	No	No
Mango	No			0.0019		0.6481	Si	Si
Limón	Si			0.0022		0.5000	Si	Si
Limón	No		5%	0.0017	0.6530	0.5669	Si	Si
Mango	Si			0.0769		0.5332	Si	Si
Mango	No			0.0440		0.1870	Si	Si
Limón	Si			0.5033		0.3937	Si	Si
Limón	No			0.2947		0.4038	Si	Si
Mango	Si		10%	0.0373	0.7977	0.6696	Si	Si
Mango	No			0.0221		0.4744	Si	Si
Limón	Si			0.2820		0.8215	No	No
Limón	No			0.0647		0.3503	Si	Si

3.3.- Análisis de Eficiencias

Para realizar el análisis de eficiencias, fue necesario calcular la velocidad de corrosión durante un periodo de tiempo determinado, 1 hora, debido a que las pruebas se realizaron por triplicado, se obtuvo un promedio de la velocidad de corrosión y se obtuvo la desviación estándar de los valores obtenidos para cada corrida; lo anterior se muestra en la **Tabla 36** y en la **Tabla 37**.

Tabla 36.-Promedio de velocidades de corrosión, para el aluminio, a diferentes tiempos con su respectiva desviación estándar.

Datos para el aluminio				Promedio de velocidades ($\mu\text{m/h}$)				Desviación estándar			
Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	137.2696	73.6894	49.7247	6.5290	3.1020	2.4335	1.30597	0.1874
Ninguno	Ninguno		Ninguno	120.0009	65.1263	44.5076	5.7338	3.4050	3.5856	0.8624	0.2821
Mango	Si		1%	128.5005	78.6764	54.0060	7.1917	4.7718	1.9122	1.2135	0.2050
Mango	No			107.1073	65.8250	45.8120	6.1390	28.4159	13.6588	8.9955	1.1048
Limón	Si			118.7778	68.9927	56.6302	7.3867	0.9242	7.4032	3.9094	0.3208
Limón	No			159.2376	90.5131	62.3071	8.2140	5.0598	2.7359	1.9848	0.2680
Mango	Si		5%	90.5725	65.4033	50.1542	6.0509	1.6777	2.7432	1.1740	0.8699
Mango	No			96.6167	65.7953	49.4599	6.7723	6.4039	11.0210	2.1455	0.2613
Limón	Si			63.3910	63.5613	45.7934	6.5076	3.0187	1.1536	0.4060	0.0574
Limón	No			69.6928	69.4351	47.5610	6.8559	0.7660	2.4658	0.2159	0.0131
Mango	Si		10%	70.3639	53.6053	37.8870	5.6390	6.4878	1.3476	1.4474	0.3547
Mango	No			85.4701	57.7299	40.8865	5.8482	2.7852	1.7085	0.9405	0.2223
Limón	Si			73.1556	56.7541	34.0937	6.1888	0.9509	0.8618	1.7034	0.2470
Limón	No			75.7663	58.6145	41.9742	6.0946	3.7563	3.5543	2.4906	0.3467
Benzoato	Ninguno	60	1%	159.6714	83.8883	57.7369	10.5148	27.1933	14.2311	9.4836	1.0730
Ninguno	Ninguno		Ninguno	127.9367	66.7815	46.9393	8.6849	3.4827	1.4082	2.1255	0.2512
Mango	Si		1%	159.3475	82.6837	57.3549	12.4193	1.1814	0.3079	0.3531	2.2923
Mango	No			151.8909	78.4546	53.2645	8.5816	12.7367	6.6080	4.4408	0.1533
Limón	Si			164.4201	83.8617	57.4840	10.7851	7.4778	4.0275	3.5939	2.0810
Limón	No			153.0974	81.8662	56.1720	8.3124	69.4831	28.2896	19.4800	0.6157
Mango	Si		5%	61.1411	32.7715	22.8508	4.2255	6.5126	2.2426	2.1595	0.3032
Mango	No			86.4503	47.8125	33.3701	5.5330	13.4190	7.3633	5.0827	0.6881
Limón	Si			70.9104	36.8179	26.4809	4.5595	9.9686	3.8796	2.1597	0.3548
Limón	No			89.3943	48.9593	34.0288	5.6972	15.4331	6.5944	4.2489	0.5458
Mango	Si		10%	105.2445	62.9877	43.5561	6.7952	26.9549	14.5608	9.5819	1.0968
Mango	No			123.2867	76.5237	52.4145	7.7940	4.6947	18.0731	12.3482	1.5449
Limón	Si			124.5933	69.2611	48.0779	8.0226	8.5508	4.6612	2.7368	0.4214
Limón	No			126.4528	68.2544	47.4768	7.7406	0.8599	1.5339	1.7252	0.4108

Tabla 37.-Promedio de velocidades de corrosión, para el acero, a diferentes tiempos con su respectiva desviación estándar.

Datos para el acero				Promedio de velocidades ($\mu\text{m/h}$)				Desviación estándar			
Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	1.4524	0.9327	0.6858	0.4646	2.0152	1.0951	0.7153	0.2355
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.7555	0.5537	0.4481	0.9321	0.5529	0.3580	0.1954	0.4227
Mango	Si		1%	1.4524	0.9327	0.6858	0.4646	2.0152	1.0951	0.7153	0.2355
Mango	No			0.7555	0.5537	0.4481	0.9321	0.5529	0.3580	0.1954	0.4227
Limón	Si			1.4524	0.9327	0.6858	0.4646	2.0152	1.0951	0.7153	0.2355
Limón	No			0.7555	0.5537	0.4481	0.9321	0.5529	0.3580	0.1954	0.4227
Mango	Si		5%	0.0188	0.0361	0.0472	0.0330	0.0090	0.0069	0.0163	0.0033
Mango	No			0.0374	0.0252	0.0503	0.0328	0.0239	0.0102	0.0056	0.0018
Limón	Si			0.0432	0.0633	0.0660	0.0777	0.0264	0.0231	0.0278	0.0092
Limón	No			0.0331	0.0331	0.0501	0.0772	0.0276	0.0207	0.0356	0.0037
Mango	Si		10%	0.2147	0.1861	0.1488	0.1144	0.0601	0.0503	0.0520	0.0151
Mango	No			0.3968	0.0899	0.2394	0.1159	0.4081	0.5895	0.1619	0.0289
Limón	Si			0.0899	1.2127	0.1701	0.1713	0.0749	1.9676	2.2042	0.2462
Limón	No			0.1569	0.1757	0.2536	0.3165	0.2205	0.1294	0.0810	0.2416
Benzoato	Ninguno	60	1%	29.5138	16.9806	12.9571	6.1573	17.1248	8.5865	5.7386	0.7859
Ninguno	Ninguno		Ninguno	22.6044	13.8804	11.4011	5.4709	31.7684	16.2008	10.1117	1.5649
Mango	Si		1%	0.4379	0.5509	0.6284	0.7366	0.1100	0.0301	0.0079	0.0167
Mango	No			0.5228	0.6041	0.6474	0.7400	0.0233	0.0047	0.0107	0.0353
Limón	Si			0.7026	0.8034	0.8307	0.7961	0.0329	0.0123	0.0280	0.0119
Limón	No			0.7621	0.8034	0.8818	0.7959	0.0119	0.0134	0.0308	0.0200
Mango	Si		5%	1.6788	1.0901	0.6517	0.6681	0.2794	0.1387	0.0506	0.0135
Mango	No			1.5201	0.5560	0.3054	0.6711	0.0907	0.1408	0.0677	0.0582
Limón	Si			2.2573	2.4241	2.4983	3.0414	0.5596	0.3408	0.2338	0.1000
Limón	No			3.0442	2.3696	2.4671	2.2318	0.3449	0.3971	0.0635	0.0552
Mango	Si		10%	0.9779	1.0574	0.9466	0.6052	0.1580	0.1071	0.0280	0.0072
Mango	No			1.0355	1.0964	0.9337	0.5718	0.0483	0.1024	0.0769	0.0581
Limón	Si			0.7825	0.7908	1.0790	1.6751	0.1629	0.4813	0.1529	0.0203
Limón	No			1.5672	1.8997	1.7888	1.8759	0.0877	0.1353	0.1506	0.1267

Para cada metal se realizaron varias pruebas, las cuales se muestran en la **Sección 3.1**, en las cuales cada pieza se sumergió en el medio corrosivo (HCl al 2.23%), el cual podía o no tener un inhibidor de corrosión (Benzoato de Sodio, Cáscara de Mango y Extracto de Limón) a diferentes concentraciones (1%, 5% y 10%) durante un determinado periodo de tiempo. Los datos se registraron y con ello se prosiguió a estudiar la **eficiencia de cada medio de inhibición** empleando la **Ecuación 1**.

$$\eta (\%) = \frac{Ca - Ci}{Ca} * 100 \quad (1)$$

En donde Ca es la velocidad de corrosión en la ausencia de un inhibidor y Ci es la velocidad de corrosión en presencia de un inhibidor.

La eficiencia de inhibición es un número positivo entre 0 y 100 cuando hay efecto de inhibición de la corrosión. Eficiencias de inhibición altas indican que el metal está protegido contra la corrosión, mientras que eficiencias de inhibición bajas indican que no hubo protección. La eficiencia de corrosión puede volverse negativa en los casos en que la sustancia que se está probando como inhibidor en realidad ataca al metal, causando una corrosión aún más acelerada que si no estuviera presente.

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 38** y en la **Tabla 39** para el aluminio y el acero respectivamente.

3.3.1.- Eficiencia para las placas de aluminio

Tabla 38.-Eficiencias a diferentes tiempos para el aluminio.

Datos para el aluminio				Eficiencia (%)			
Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	-14.3905	-13.1485	-11.7219	-13.8686
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mango	Si		1%	-7.0830	-20.8059	-21.3411	-25.4267
Mango	No			10.7445	-1.0729	-2.9308	-7.0664
Limón	Si			1.0192	-5.9368	-27.2372	-28.8283
Limón	No			-32.6970	-38.9809	-39.9921	-43.2561
Mango	Si		5%	24.5235	-0.4253	-12.6869	-5.5303
Mango	No			19.4866	-1.0273	-11.1270	-18.1118
Limón	Si			47.1745	2.4030	-2.8890	-13.4958
Limón	No			41.9231	-6.6160	-6.8605	-19.5695
Mango	Si		10%	41.3638	17.6902	14.8752	1.6526
Mango	No			28.7755	11.3570	8.1357	-1.9961
Limón	Si			39.0374	12.8553	11.5615	-7.9357
Limón	No			36.8619	9.9986	5.6921	-6.2930
Benzoato	Ninguno	60	1%	-24.8051	-25.6161	-23.0033	-21.0700
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mango	Si		1%	-24.5519	-23.8123	-22.1896	-42.9981
Mango	No			-18.7235	-17.4795	-13.4753	1.1892
Limón	Si			-28.5168	-25.5763	-22.4645	-24.1817
Limón	No			-19.6666	-22.5882	-19.6696	4.2891
Mango	Si		5%	52.2098	50.9272	51.3184	51.3463
Mango	No			32.4273	28.4046	28.9079	36.2919
Limón	Si			44.5738	44.8681	43.5848	47.5006
Limón	No			30.1261	26.6873	27.5047	34.4012
Mango	Si		10%	17.7370	5.6808	7.2076	21.7581
Mango	No			3.6346	-14.5882	-11.6644	10.2581
Limón	Si			2.6133	-3.7130	-2.4257	7.6265
Limón	No			1.1598	-2.2056	-1.1453	10.8727

Con el fin de visualizar mejor los resultados, se presentaron las eficiencias obtenidas a un tiempo determinado, 24 horas, a diferentes concentraciones para cada inhibidor; lo anterior de muestra en el **Diagrama 61** y en **Diagrama 62**.

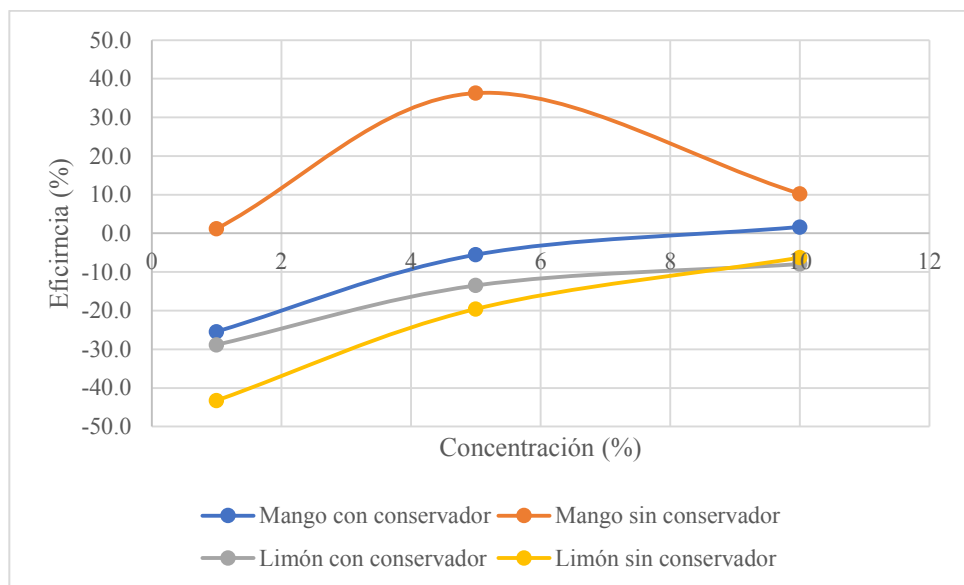


Diagrama 61.-Eficiencia vs. Concentración del aluminio @ temperatura ambiente, 24h.

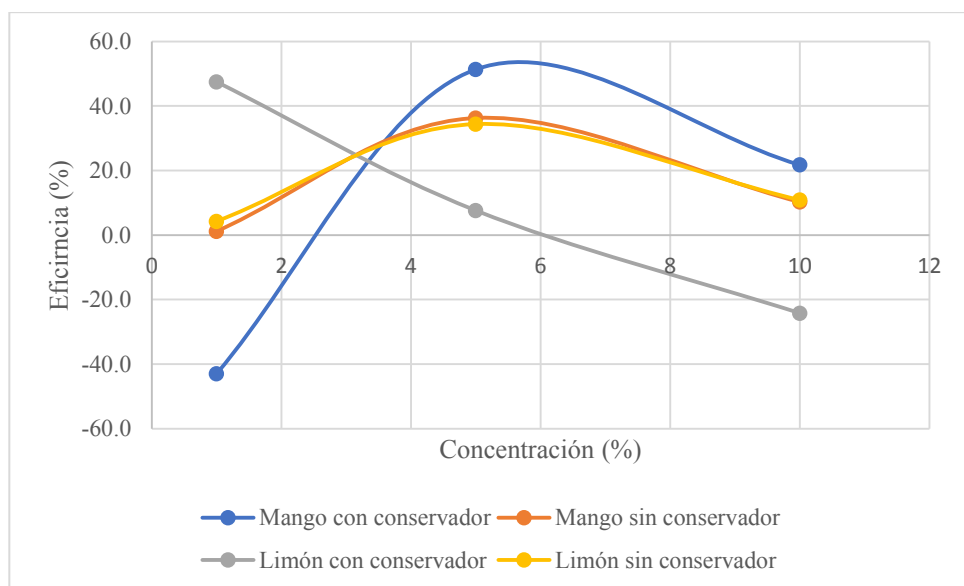


Diagrama 62.-Eficiencia vs. Concentración del aluminio @ 60 °C, 24h.

Como se puede observar en el **Diagrama 62**, a una temperatura de 60°C se obtiene mejores resultados, en la mayoría de los casos, a una concentración del 5%; sin embargo, a temperatura ambiente se obtienen mejores resultados a una concentración del 10% en la mayoría de los casos, lo anterior se muestra en el **Diagrama 61**. Observando ambos diagramas, se puede determinar que la eficiencia máxima obtenida es del 51.34%; ésta se obtuvo con el inhibidor de mango con conservador a una concentración del 5% a una temperatura de 60 °C.

Graficando las eficiencias a un tiempo determinado, 24 horas, se puede observar el efecto de la temperatura para cada inhibidor de acuerdo a la concentración empleada; lo anterior se muestra en el **Diagrama 63**,

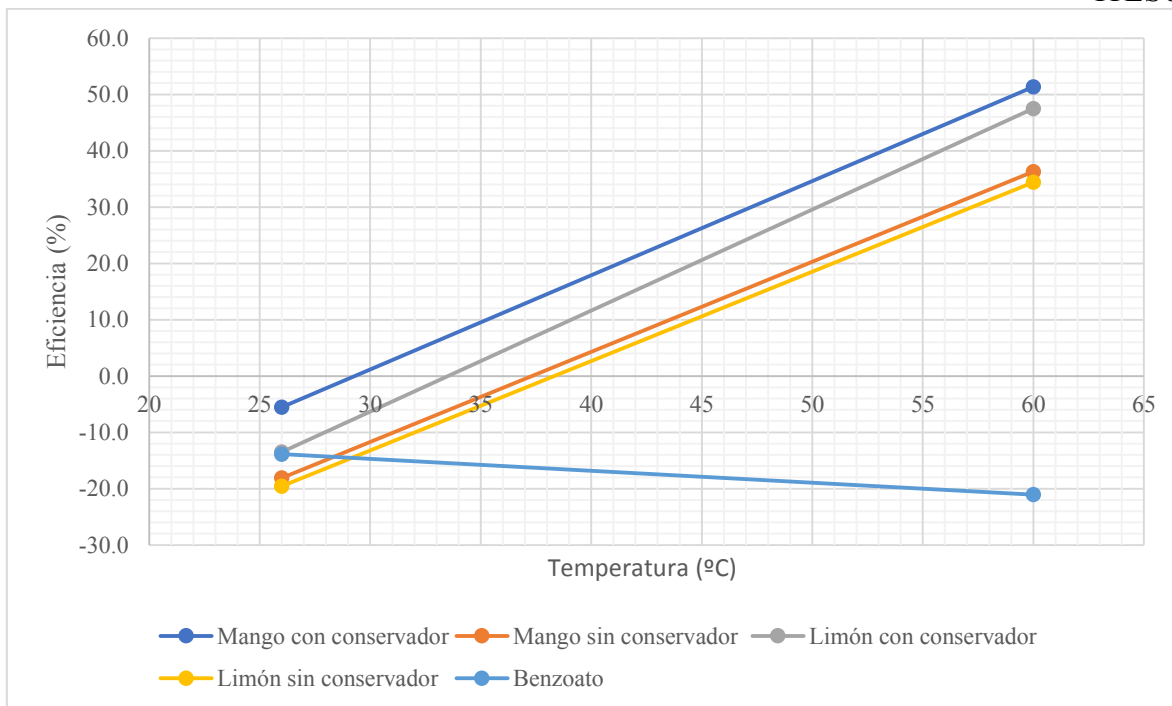


Diagrama 64 y Diagrama 65.

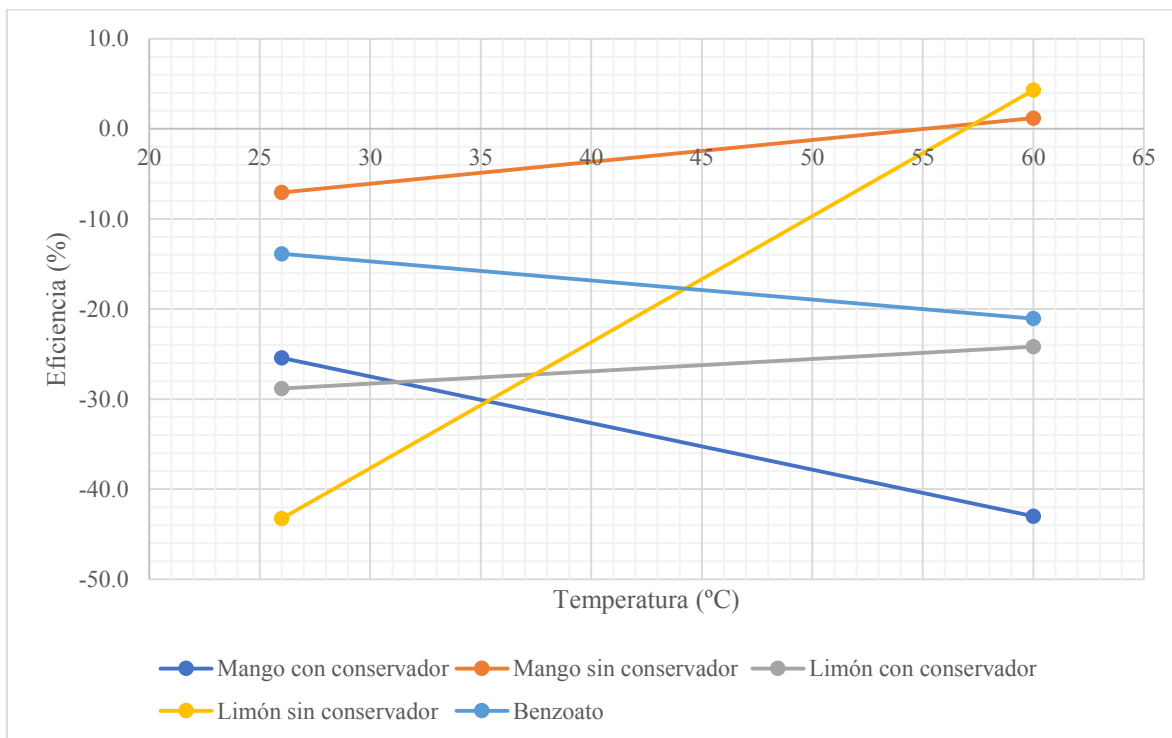


Diagrama 63.-Eficiencia vs. Temperatura del aluminio a una concentración de inhibidor del 1%.

Como se puede observar en el **Diagrama 63**, la eficiencia más alta se obtiene con el inhibidor de limón sin conservador a 60°C, la cual es del 4.28%. Así mismo, se puede observar que la

mayoría de las eficiencias obtenidas son negativas, lo cual indica que, a esta concentración, los inhibidores hacen que el medio se vuelva más corrosivo en lugar de evitar dicha situación.

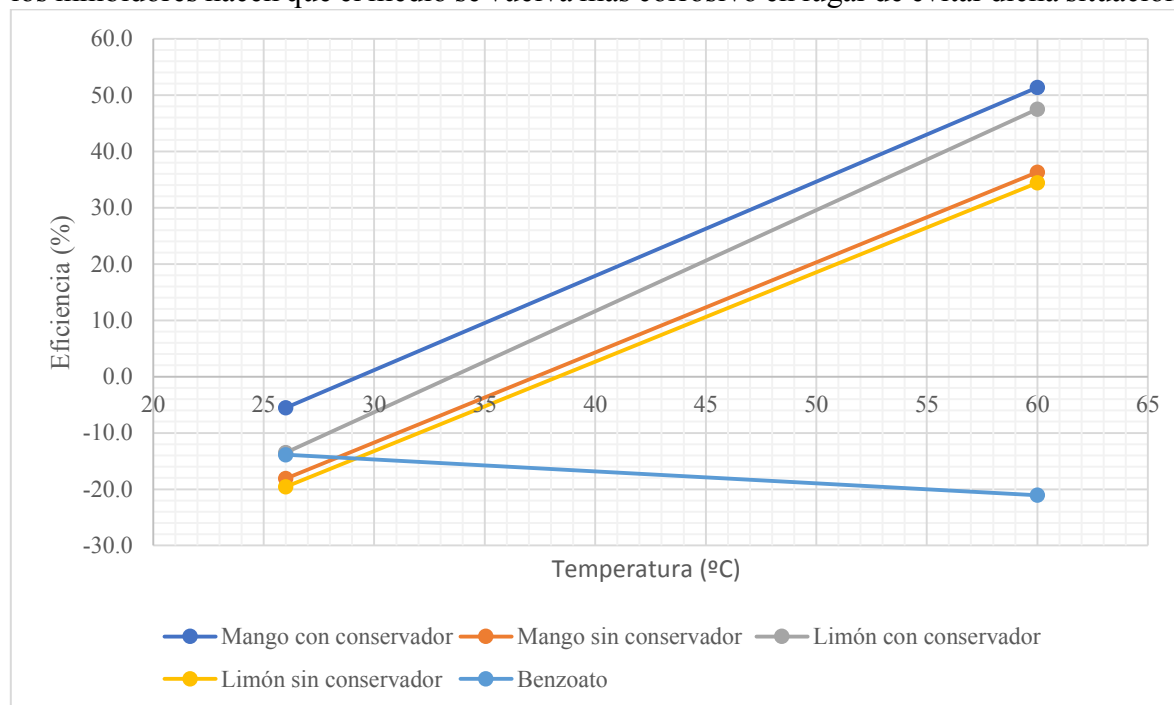


Diagrama 64.-Eficiencia vs. Temperatura del aluminio a una concentración de inhibidor del 5%.

En

el

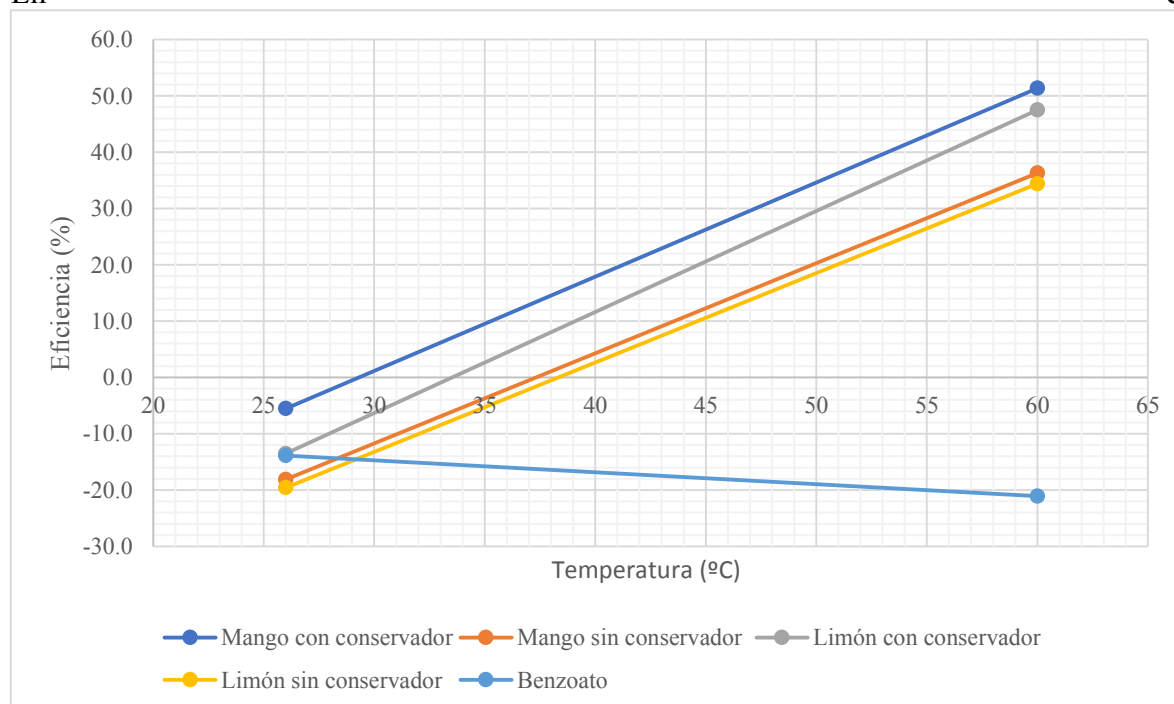


Diagrama 64, se observa que las eficiencias de todos los inhibidores son negativas a temperatura ambiente, mientras que, a una temperatura más alta, la eficiencia aumenta de tal

manera que con el inhibidor de mango con conservador se obtiene la eficiencia más alta, la cual es del 51.34%.

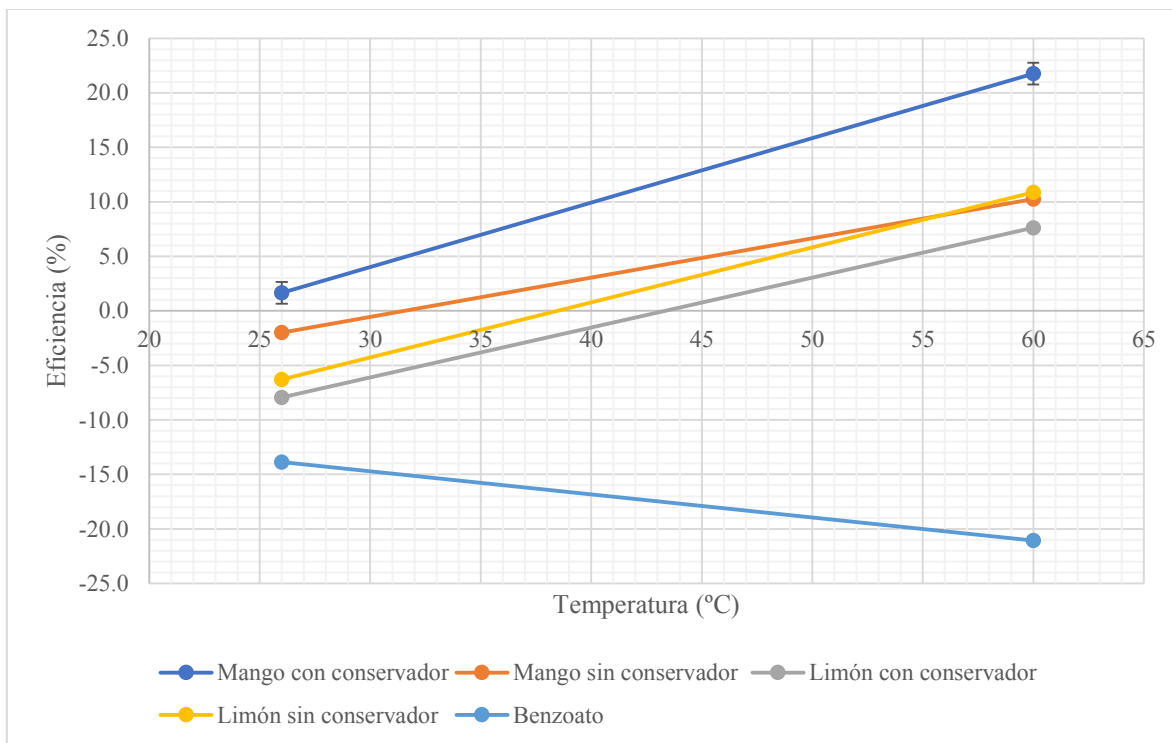


Diagrama 65.- Eficiencia vs. Temperatura del aluminio a una concentración de inhibidor del 10%.

Como se puede observar en el **Diagrama 65**, al igual que en el

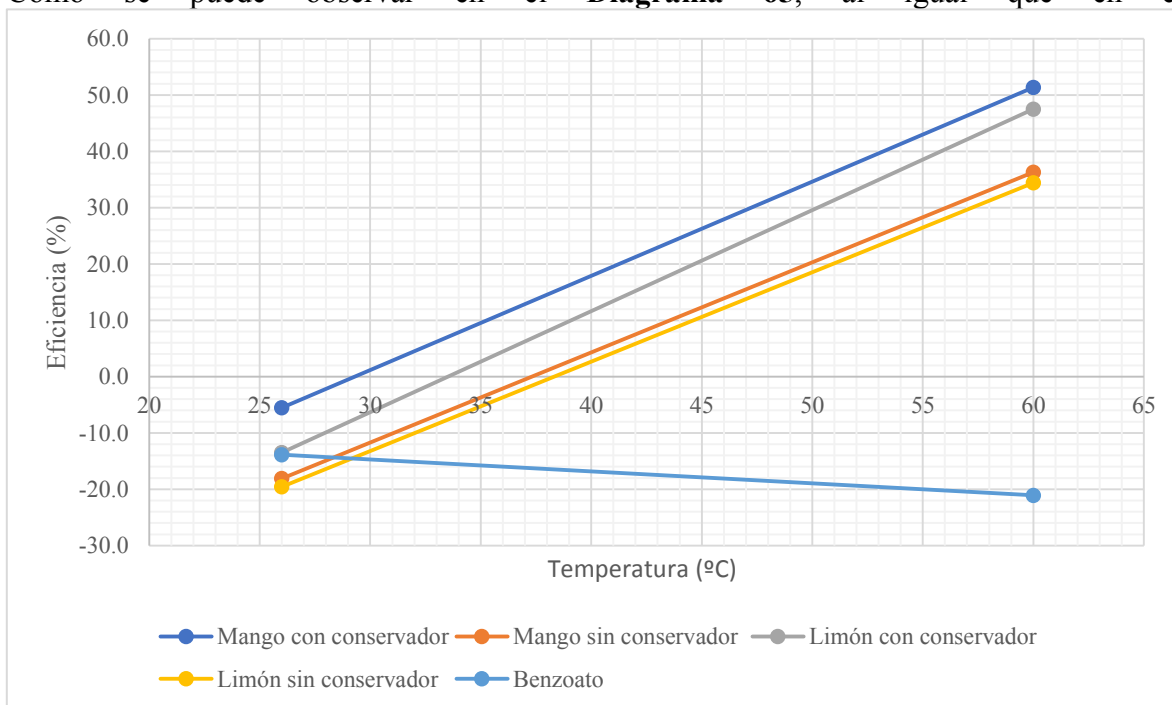


Diagrama 64, la eficiencia de la mayoría de los inhibidores es negativa a temperatura ambiente (26°C), mientras que a 60 °C, la mayoría de los inhibidores aumenta su eficiencia; el inhibidor mango con conservador presenta la eficiencia más alta a esta concentración, la cual es del 21.75%.

En los **Diagramas 63, 64 y 65**, se observa que el inhibidor con mayor eficiencia, en la mayoría de los casos, es el de mango con conservador a 60 °C; mientras que el inhibidor con menor eficiencia es el benzoato de sodio.

3.3.2.- Eficiencia para las placas de acero

Tabla 39.-Eficiencias a diferentes tiempos para el acero.

Datos para el acero				Eficiencia (%)			
Inhibidor	Conservador	Temperatura (°C)	Concentración inhibidor	1 hora	2 horas	3 horas	24 horas
Benzoato	Ninguno	Temperatura Ambiente	1%	-92.2309	-68.4618	-53.0711	50.1564
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mango	Si		1%	76.6813	68.5106	60.5362	88.7199
Mango	No			71.3396	64.8176	60.0100	85.2914
Limón	Si			73.2017	50.8423	36.3647	72.7924
Limón	No			75.2288	55.0723	43.1285	69.6062
Mango	Si		5%	97.5147	93.4731	89.4659	96.4580
Mango	No			95.0476	95.4571	88.7666	96.4809
Limón	Si			94.2762	88.5750	85.2754	91.6602
Limón	No			95.6200	94.0164	88.8211	91.7153
Mango	Si		10%	71.5893	66.3879	66.7944	87.7228
Mango	No			47.4842	83.7589	46.5619	87.5688
Limón	Si			88.0989	-119.0310	62.0463	81.6215
Limón	No			79.2317	68.2700	43.4002	66.0426
Benzoato	Ninguno	60	1%	-30.5666	-22.3353	-13.6476	-12.5475
Ninguno	Ninguno		Ninguno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mango	Si		1%	98.0629	96.0314	94.4881	86.5361
Mango	No			97.6870	95.6475	94.3214	86.4732
Limón	Si			96.8919	94.2119	92.7136	85.4493
Limón	No			96.6283	94.2121	92.2657	85.4529
Mango	Si		5%	92.5731	92.1465	94.2839	87.7881
Mango	No			93.2753	95.9947	97.3210	87.7328
Limón	Si			90.0139	82.5358	78.0872	44.4075
Limón	No			86.5327	82.9287	78.3604	59.2052
Mango	Si		10%	95.6740	92.3819	91.6972	88.9378
Mango	No			95.4192	92.1010	91.8108	89.5480
Limón	Si			96.5382	94.3029	90.5357	69.3814
Limón	No			93.0667	86.3140	84.3105	65.7118

Con el fin de visualizar mejor los resultados, se presentaron las eficiencias obtenidas a un tiempo determinado, 24 horas, a diferentes concentraciones para cada inhibidor; lo anterior de muestra en el **Diagrama 66** y en **Diagrama 67**.

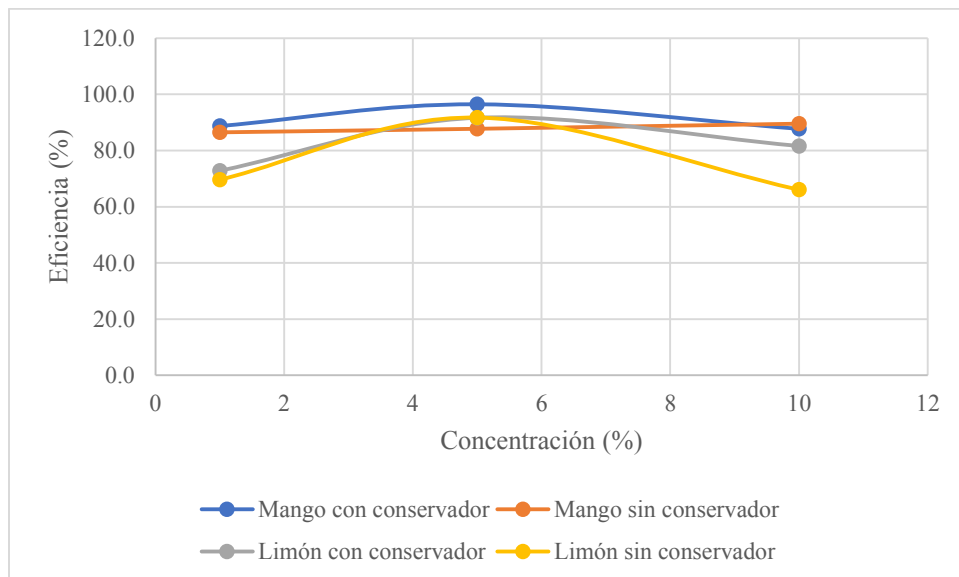


Diagrama 66.- Eficiencia vs. Concentración del acero @ temperatura ambiente, 24h.

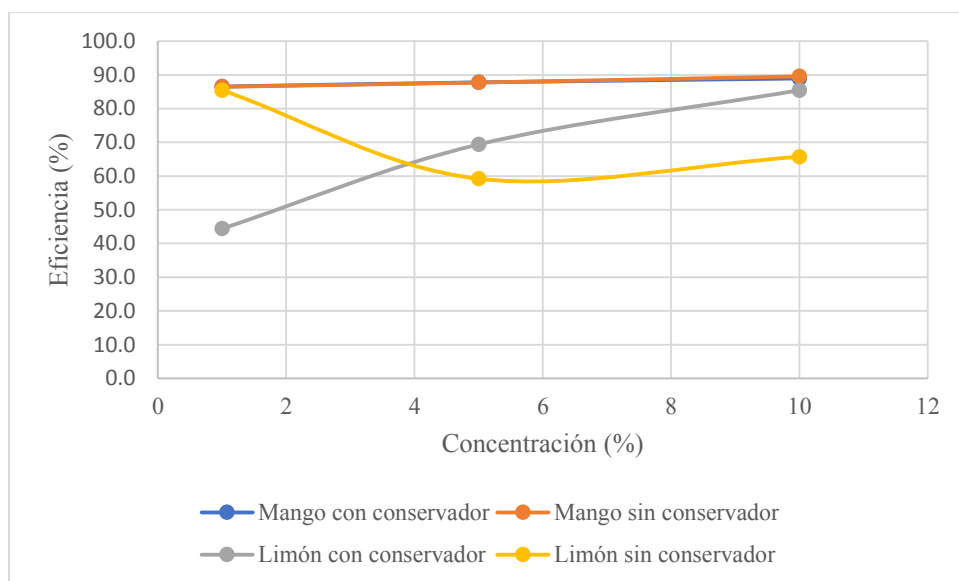


Diagrama 67.-Eficiencia vs. Concentración del acero @ 60 °C, 24h.

Como se puede observar en el **Diagrama 66**, a temperatura ambiente se obtiene mejores resultados, en la mayoría de los casos, a una concentración del 5%; sin embargo, a una temperatura de 60°C se obtienen mejores resultados, en la mayoría de los casos, a una concentración del 10%, lo anterior se muestra en el **Diagrama 67**. Observando ambos diagramas, se puede determinar que la eficiencia máxima obtenida es del 96.45%; ésta se obtuvo con el inhibidor de mango con conservador a una concentración del 5% a temperatura ambiente. En ambas temperaturas las eficiencias más altas, en la mayoría de los casos, se obtuvieron con los inhibidores a base de mango.

Graficando las eficiencias a un tiempo determinado, 24 horas, se puede observar el efecto de la temperatura para cada inhibidor de acuerdo a la concentración empleada; lo anterior se muestra en el **Diagrama 68**, **Diagrama 69** y **Diagrama 70**.

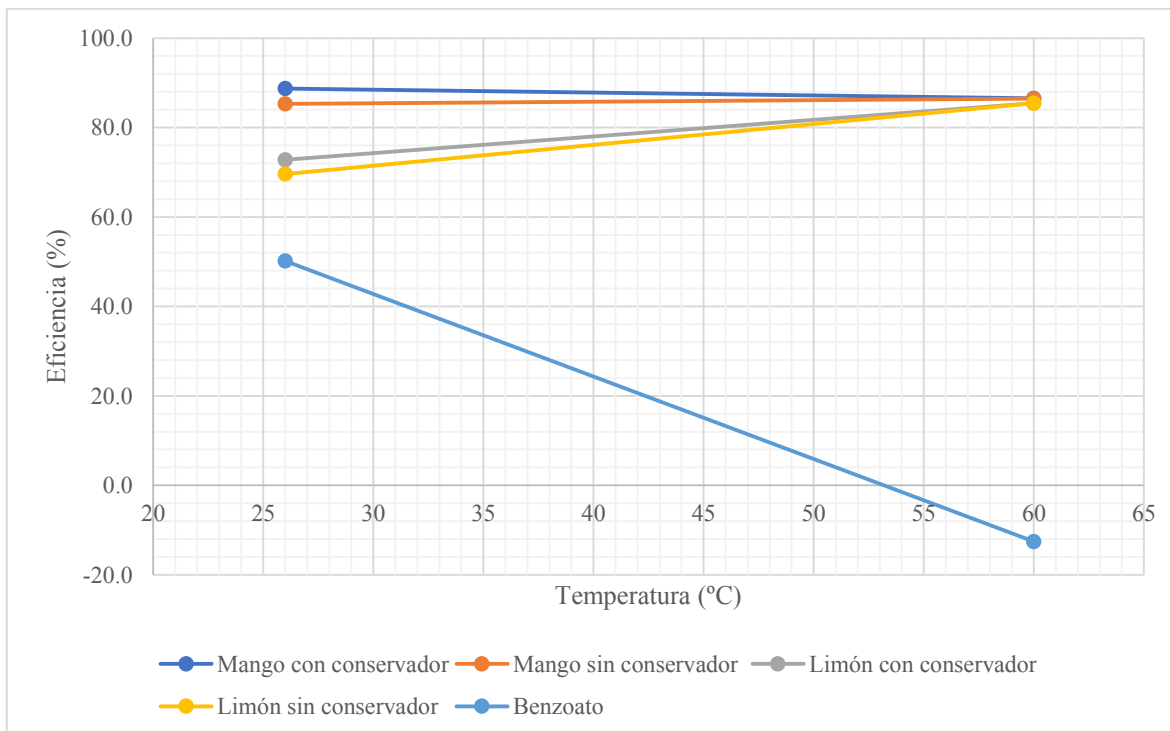


Diagrama 68.- Eficiencia vs. Temperatura del acero a una concentración de inhibidor del 1%.

Como se puede observar en el **Diagrama 68**, la eficiencia más alta se obtiene con el inhibidor de mango con conservador a temperatura ambiente, la cual es del 88.71%. Así mismo, se puede observar que la mayoría de las eficiencias obtenidas son positivas y arriba del 70%, lo cual indica que, a esta concentración, los inhibidores presentan una eficiencia relativamente alta.

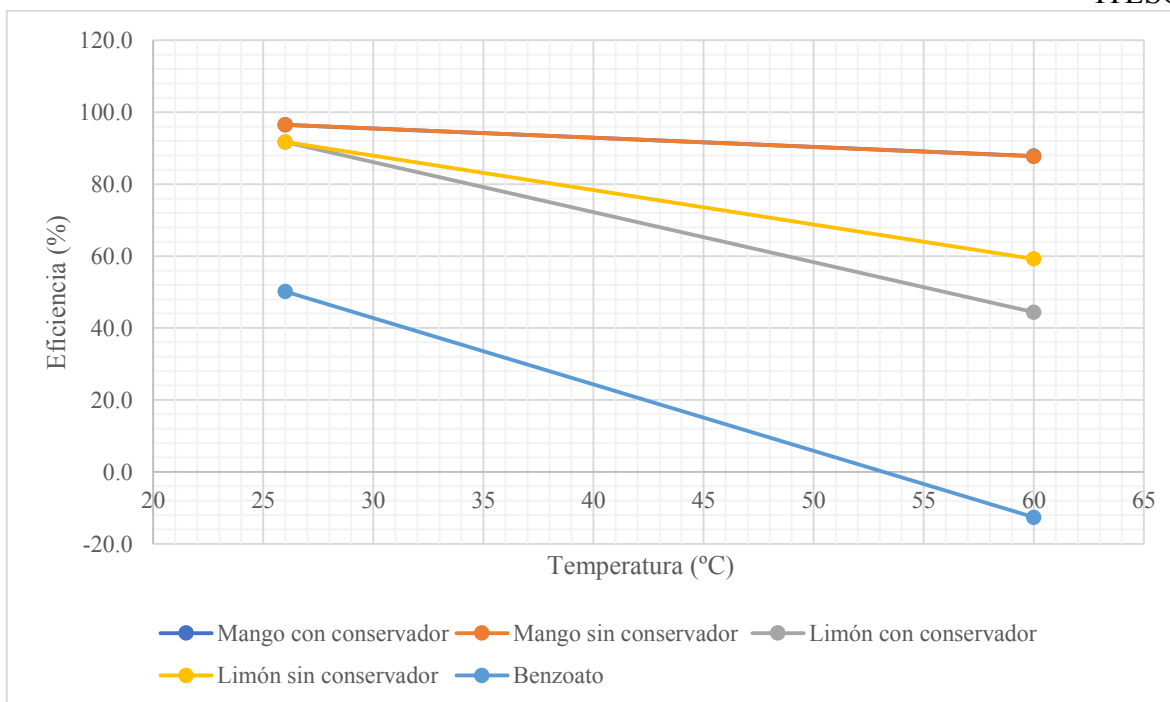


Diagrama 69.-Eficiencia vs. Temperatura del acero a una concentración de inhibidor del 5%.

En el **Diagrama 69**, se observa que las eficiencias de todos los inhibidores son positivas a temperatura ambiente, mientras que, a una temperatura más alta, la eficiencia disminuye; por lo tanto, a temperatura ambiente se obtuvo la eficiencia más alta con el inhibidor de mango sin conservador, la cual es del 96.48%.

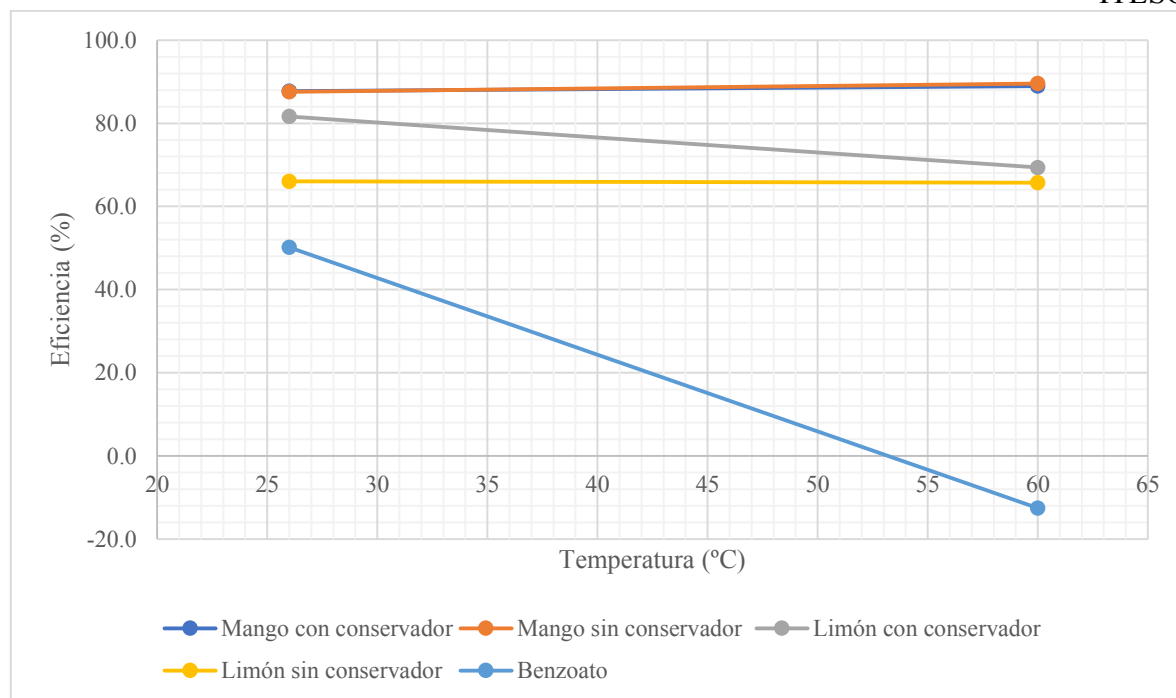


Diagrama 70.-Eficiencia vs. Temperatura del acero a una concentración de inhibidor del 10%.

Como se puede observar en el **Diagrama 70**, la eficiencia de la mayoría de los inhibidores se encuentra arriba del 60% de eficiencia. El inhibidor mango sin conservador presenta la eficiencia más alta a esta concentración, la cual es del 89.54% a una temperatura de 60 °C; sin embargo, este inhibidor presenta una eficiencia muy similar a temperatura ambiente, la cual es del 87.56%. Cabe mencionar, que el mango con conservador presenta eficiencias muy similares al inhibidor de mango sin conservador a ambas temperaturas.

En los **Diagramas 68, 69 y 70**, se observa que tanto el inhibidor de mango con conservador como el de sin conservador presentan prácticamente las mismas eficiencias; la eficiencia más alta se obtuvo a temperatura ambiente con una concentración del 5%. Por otro lado, el benzoato de sodio, presenta una eficiencia negativa a los 60 °C en todos los casos.

4.- Reflexiones del alumno sobre su aprendizaje, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto.

Aprendizajes profesionales

Este trabajo me permitió mejorar mi capacidad de tomar decisiones, ya que para el desarrollo de este trabajo fue necesario utilizar mi propio criterio para poder sacar un mayor provecho del tiempo y de los resultados obtenidos. Fue necesario y útil estar estudiando cada resultado para ver si proseguía o no lo que se estaba realizando, lo cual, con el tiempo me facilitó tomar las decisiones pertinentes para realizar un mayor número de corridas en un lapso menor de tiempo y saber que concentración de inhibidor era pertinente utilizar.

Aprendizajes sociales

Llevar a cabo la realización de este trabajo, me permitió conocer otras áreas que fueron importantes para poder llevar a cabo este proyecto. Tuve que trabajar en otros laboratorios, como el de mecánica, en el cual aprendí a cortar las piezas de acero; así mismo tuve que relacionarme nuevamente con el entorno de compra y venta de materiales. También tuve que aprender a convivir y trabajar en diferentes entornos, ya que no siempre se podía trabajar en el mismo laboratorio debido a las múltiples prácticas que se realizan en los laboratorios de PTI; además, de que había ocasiones en que tenía que compartir el espacio con más de un grupo de personas, lo cual, en ocasiones, complicaba la realización del trabajo. Durante la realización de este trabajo conocí a un grupo de personas las cuales están interesadas en este proyecto. Platicar con estas personas me hizo darme cuenta del impacto que puede llegar a tener este trabajo y de lo grande que puede llegar a ser.

Aprendizajes éticos

Para este proyecto desde un principio se abordó “verde” ya que se buscó emplear desechos agroindustriales para utilizarlos como inhibidores de corrosión. Al escoger los desechos agroindustriales, se buscó que fueran desechos de productos que se cosechan y/o producen en México; con esto se busca cuidar al medio ambiente al aprovechar los desechos orgánicos de las industrias agroindustriales.

Debido a que varios de los resultados obtenidos, a lo largo de la realización del proyecto, no eran los esperados, se tuvo que decidir si era o no viable presentarle los resultados al asesor. Al final se le presentaron todos los resultados al asesor, ya fueran éstos buenos o malos, y junto con él se tomaron las decisiones pertinentes para continuar con la realización del trabajo.

Aprendizaje personal

Realizar este trabajo me permitió conocer lo que es realizar un trabajo profesional valiéndome principalmente de las habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Así mismo, este trabajo me ayudó a darme cuenta que no siempre se van a obtener los resultados esperados, pero dentro de todo, toda la información adquirida, sea o no la esperada, es valiosa porque se generan nuevos conocimientos que al final pueden servir de referencia para algún proyecto o trabajo que se planea realizar en un futuro.

5.- Conclusiones y trabajo futuro

Los inhibidores orgánicos presentan resultados favorables para el acero, inclusive algunos son regulares para el aluminio. La eficiencia de cada inhibidor depende tanto de la temperatura de operación como de la concentración a utilizar; los mejores resultados se obtuvieron con los inhibidores a base de mango tanto para el acero como para el aluminio, sin embargo, para el aluminio la eficiencia más alta se presenta a una temperatura de 60 °C, mientras que para el acero se presenta a temperatura ambiente (26°C), ambos a una concentración del 5%.

Los resultados obtenidos fueron mejores con el acero a comparación con el aluminio, teniendo eficiencias del 96% y del 51%, respectivamente; lo anterior puede deberse a que el aluminio reacciona exotérmicamente con el ácido clorhídrico, por lo cual no sería recomendable utilizar aluminio en lugares donde se trabaja con ácido clorhídrico.

Debido a que la reacción que ocurre entre el aluminio y el ácido clorhídrico es exotérmica, la eficiencia de inhibición a 60 °C es más alta que a temperatura ambiente; para un trabajo futuro sería interesante estudiar la eficiencia de los inhibidores de corrosión con el aluminio a temperaturas más altas con el fin de ver si se puede o no obtener mejores resultados a los presentados en este trabajo.

Para la continuación de este proyecto, sería recomendable emplear temperaturas intermedias de inhibición, utilizando los inhibidores agroindustriales empleados en este trabajo, para corroborar que el comportamiento de la eficiencia contra la temperatura es lineal. Así mismo sería interesante conseguir otros metales empleados en la industria y estudiar el comportamiento de los inhibidores de corrosión ya propuestos con el fin de averiguar si se pueden obtener eficiencias altas de inhibición como las ya obtenidas con el acero. Igualmente sería conveniente utilizar otros agentes corrosivos, como el agua de mar, para ver si los inhibidores ya utilizados pueden funcionar como inhibidores de corrosión en otros medios de corrosión.

También sería aconsejable probar otros productos orgánicos como el aguacate, el coco, la tuna, el jitomate, entre otros, con el fin de ver si se pueden obtener resultados similares o inclusive mejores a los presentados en este trabajo. Debido a que los inhibidores propuestos en este trabajo presentan un pH ácido, sería recomendable buscar inhibidores que tuvieran un pH básico con el fin de ver si con un pH más básico se pueden obtener eficiencias más altas.

6.- Bibliografía

1. Gopiraman, M. *et al.* An investigation of mild carbon steel corrosion inhibition in hydrochloric acid medium by environment friendly green inhibitors. *J. Coat. Technol. Res.* **9**, 15–26 (2012).
2. Kesavan, D., Gopiraman, M. & Sulochana, N. Green Inhibitors for Corrosion of Metals : A Review. *I* **1**, (2012).
3. Rani, B. E. A. & Basu, B. B. J. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview. *Int. J. Corros.* **2012**, e380217 (2012).
4. Sastri, V. S. *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*. (John Wiley & Sons, 2012).
5. Killaars, J. & Finley, P. Move to Environmentally Acceptable Products: How the OSPARCOM legislation affects the Introduction of New Products. in (Society of Petroleum Engineers, 2001). doi:10.2118/65044-MS
6. O.M. Ajayi, N.M. Everitt, K.T. Voisey. Evaluation of Inulin and Aloe Vera as Green Corrosion Inhibitors for Mild Steel in 15% HCl. Faculty of Engineering, The University of Nottingham, UK.
7. Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers. Probabilidad y estadística. McGraw Hill. 4ta edición.
8. Saviourn A. Umoren, Ubong M. Eduok. Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review. *Carbohydrate Polymers* **140** (2016) 314-341.
9. C. C. Nathan. Corrosion Inhibitors. National Association of Corrosion Engineers. Houston Texas.

10. B. Llanos, N. Tapia. Estudio selectivo de compuestos orgánicos como inhibidores de corrosión de cobre, aluminio y acero en agua salina. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Volumen 5, N° 1, 2002. Págs. 64-74.
11. L. Saavedra. (2016). “Desarrollo de Competencias en Tecnología Electroquímica y sus Aplicaciones: Coloración del anodizado de Aluminio”. Tlaquepaque, Jalisco, México: ITESO.
12. Asociación Latinoamericana de Acero. Chile. <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>.